

# Perspektywy fizyki cząstek elementarnych

## Elementy fizyki cząstek elementarnych

### Wykład XIII

- Nowe projekty akceleratorowe:
  - ⇒ CLIC ( $e^+e^-$ )
  - ⇒ VLHC ( $pp$ )
  - ⇒ Photon Collider
  - ⇒ zderzenia  $\mu^+\mu^-$
  - ⇒ fabryki neutrin
- Astro-cząstki ?!...  
wykład gościnny dr.hab. G.Wrochny (IPJ)

# Przyszłe akceleratory

LHC (99.99% CL)

Akcelerator i eksperymenty w budowie. Planowane uruchomienie: 2007.

FLC (95% CL)

Kilka projektów liniowego akceleratora  $e^+e^-$ :

- $\sqrt{s} \sim 0.5 - 0.8$  TeV (TESLA, NLC, JLC)
- $\sqrt{s} \sim 0.5 - 3$  TeV (CLIC)

Consensus jeśli chodzi o potrzebę budowy !...

Dalsze ?!

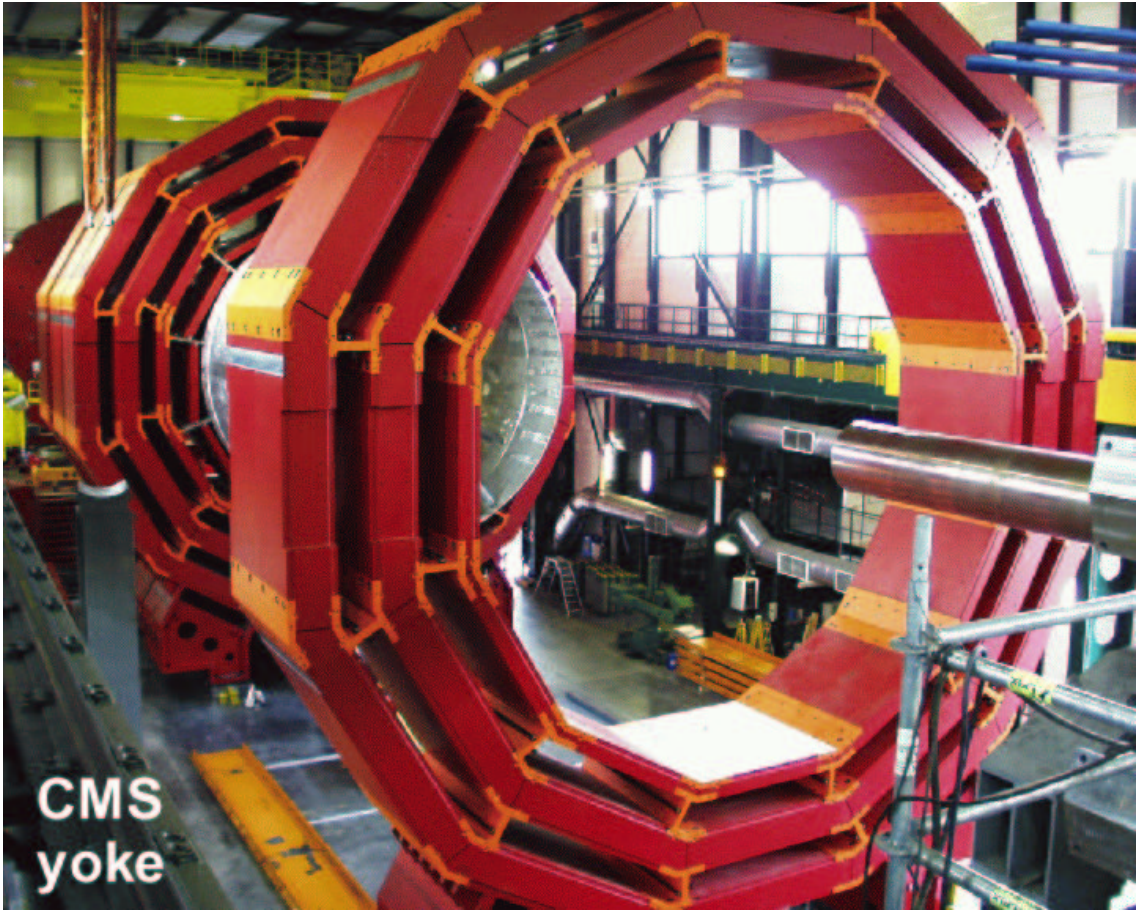
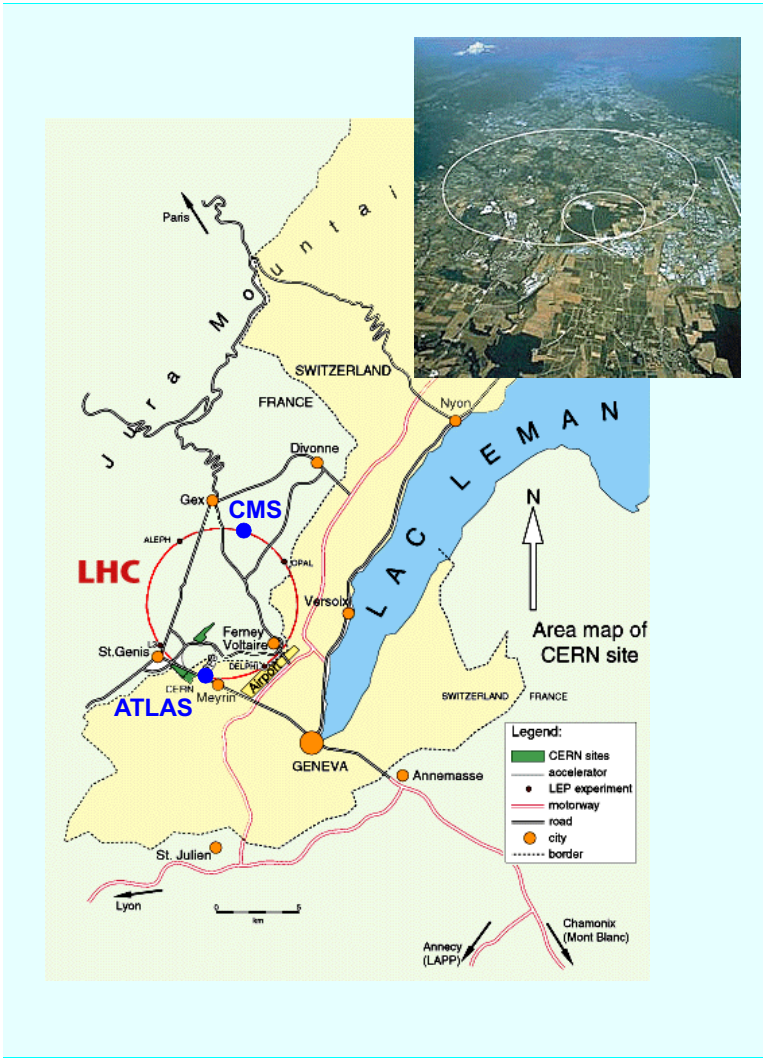
Barierą w budowie dalszych akceleratorów są przede wszystkim koszty !

⇒ konieczne są nowe pomysły, nowe rozwiązania...

Koszty ⇔ rozmiary

- maszyny hadronowe - pole magnetyczne
- maszyny  $e^+e^-$  - pole przyspieszające (a. liniowe)  
straty energii na promieniowanie (a. kołowe)

# LHC





# Tesla

## Westerhorn





Nie ma alternatywy dla liniowych akceleratorów  $e^+e^-$

“LEP 1000”  
2 TeV in Center-of-Mass  
Diameter  $\approx$  900 km  
Linear Collider at 50 MeV/m  
Length = 40 km  $\rightarrow\leftarrow$

**Why LEP 1000 gave way to the idea of linear colliders**



# CLIC

## 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

Jedyny problem: nie wiadomo czy zadziała...

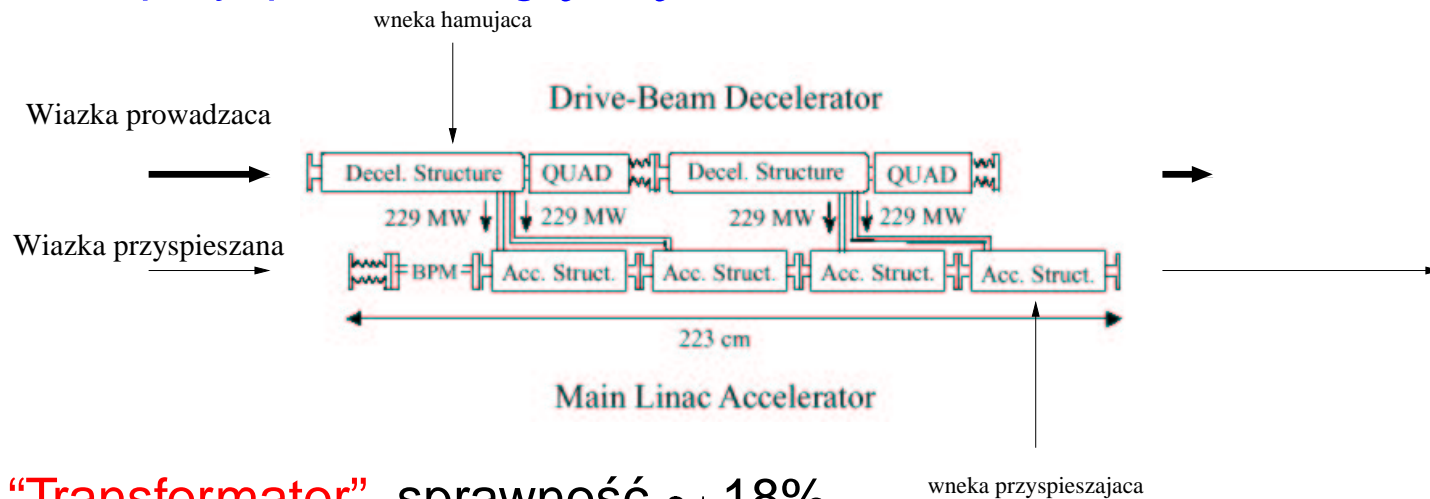
(TESLA: technologia sprawdzona w 99%)



# CLIC

## Zasada działania

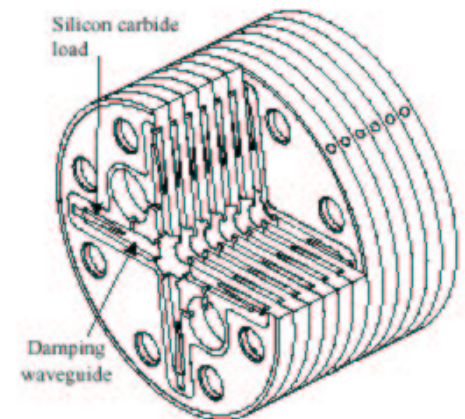
Wiązka prowadząca wytwarza pole elektryczne (falę EM), które przyspiesza drugą wiązkę:



Wnęka hamująca



Wnęka przyspieszająca



“**Transformer**”, sprawność  $\sim 18\%$

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

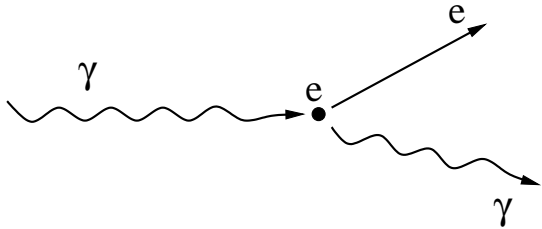
Obecnie przygotowywane są testy kolejnego (3) prototypu

Ostateczny projekt  $\sim 2008$ , uruchomienie  $\sim 2020$  (???)

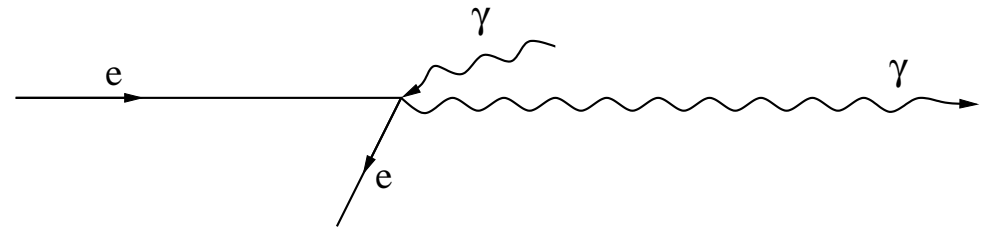
# Zderzenia $\gamma\gamma$

## 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** !

## Photon Collider (PC)

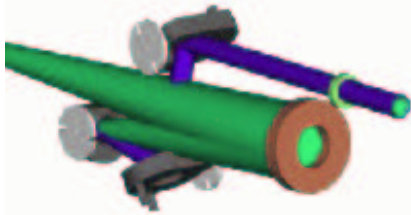
Możliwość **zderzania fotonów** jest opcją we wszystkich projektach  $e^+e^-$ .

Wykorzystując **niezwykle silny laser** możemy uzyskać prawie pełną “zamianę” wiązki elektronowej w fotonową...

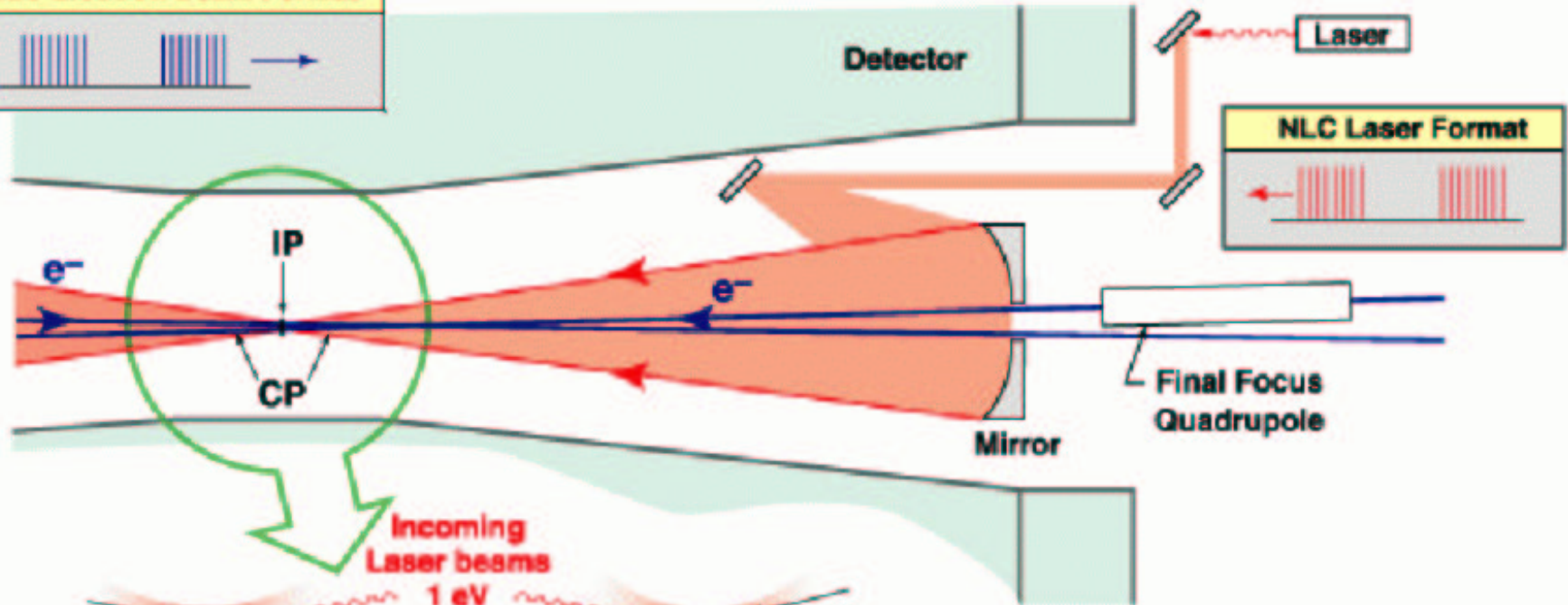
**Fotony** “przejmują” nie tylko **energię** (maksimum przy ok. 80% energii wiązki), ale i **kierunek** wiązki elektronów (rozmycie kątowe  $\sim m_e/E_e$ )

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



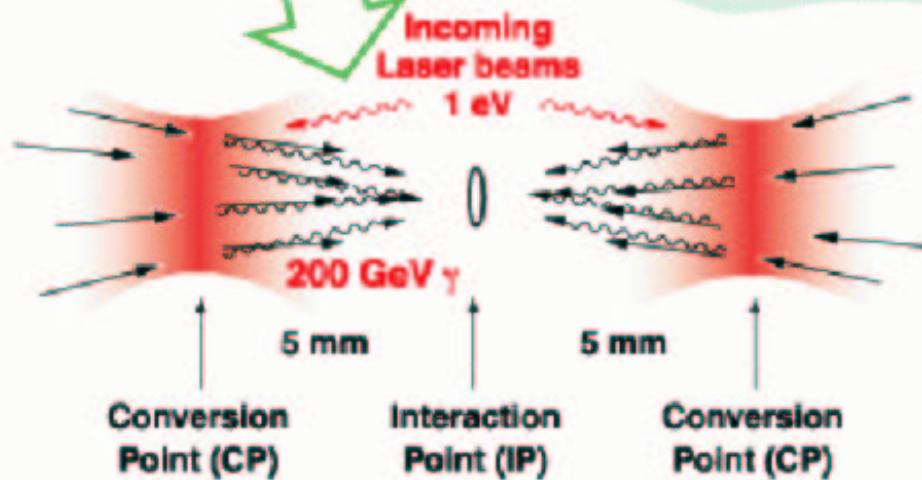


# Photon Colliders – The marriage of lasers and electron linear colliders



Projekt NLC  
 $e^-$ : 250 GeV

$\gamma \sim 200$  GeV

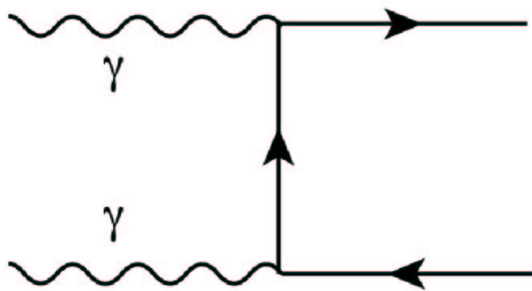


NLC Laser
~ 1 Joule/bunch
95 1-ps bunches/pulse
2.8 nsec spacing

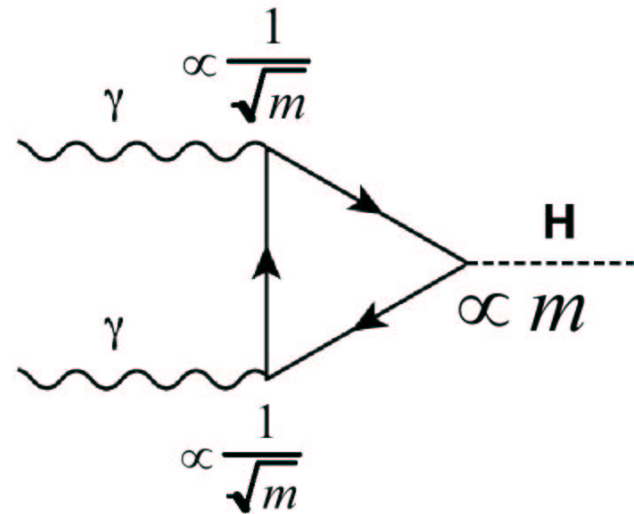
# Photon Collider

## Fizyka

W zderzeniach  $\gamma\gamma$  możemy produkować **wszystkie** cząstki **naładowane** (“czyste” oddziaływanie elektromagnetyczne), ale nie tylko...



**Wyjątkowa** w zderzeniach  $\gamma\gamma$  jest możliwość **rezonansowej** produkcji bozonu **Higgsa**:



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

W innych procesach **wkłady pętlowe** szybko **maleją** ze wzrostem **masy** cząstek...

Ale **sprzężenie Higgsa** jest proporcjonalne do **masy** !

$\Rightarrow$  **wkłady skończone** nawet w granicy  $M \rightarrow \infty$

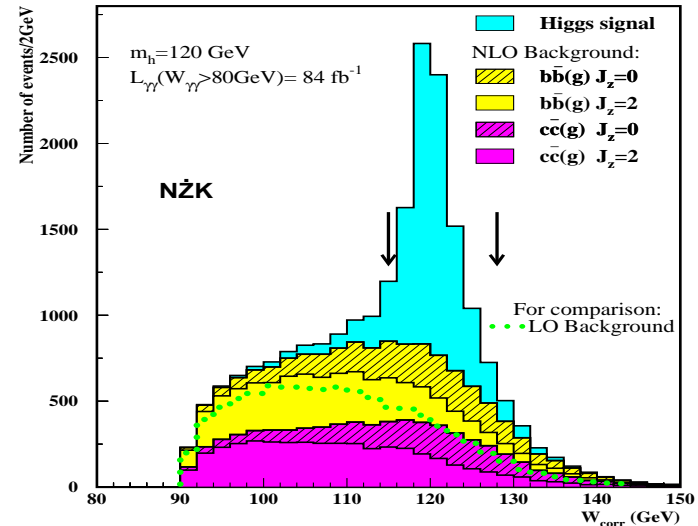
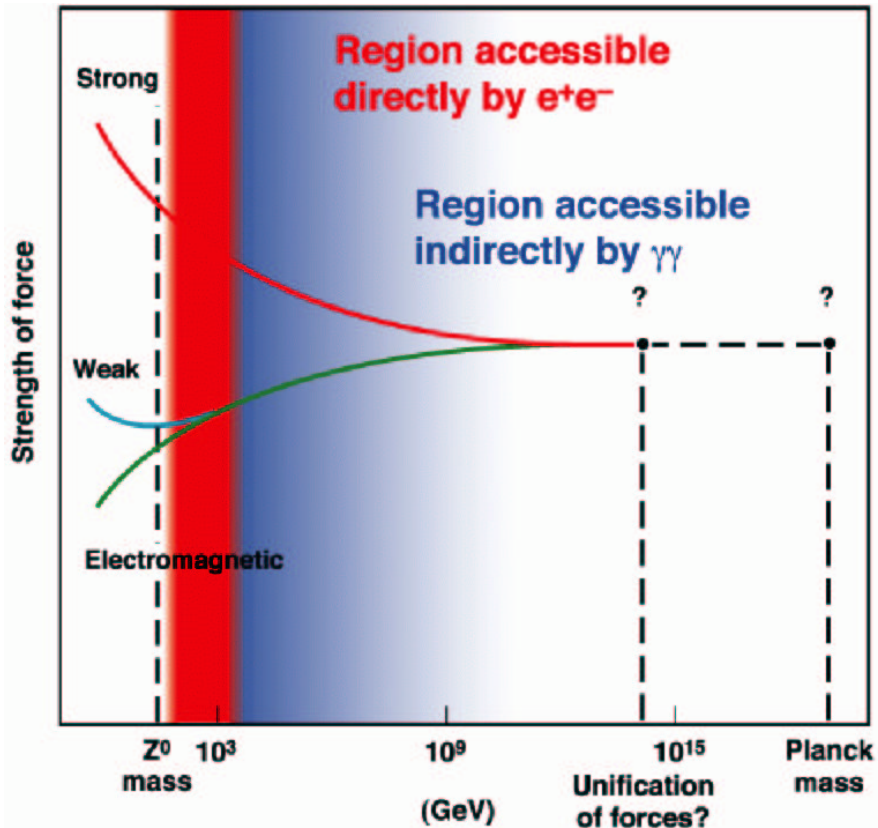
# Photon Collider

## Fizyka

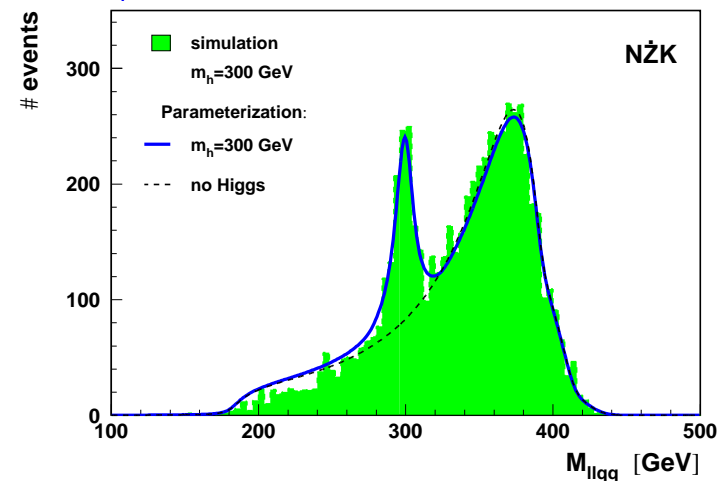
Jedyny kolajder, który może “sięgnąć” skali unifikacji

Wyniki symulacji prowadzonych w Warszawie:

$$\gamma\gamma \rightarrow h \rightarrow b\bar{b} \quad e^+e^- \text{ beams with } \sqrt{s_{ee}} = 210 \text{ GeV}$$



$$\gamma\gamma \rightarrow h \rightarrow ZZ$$





# VLHC

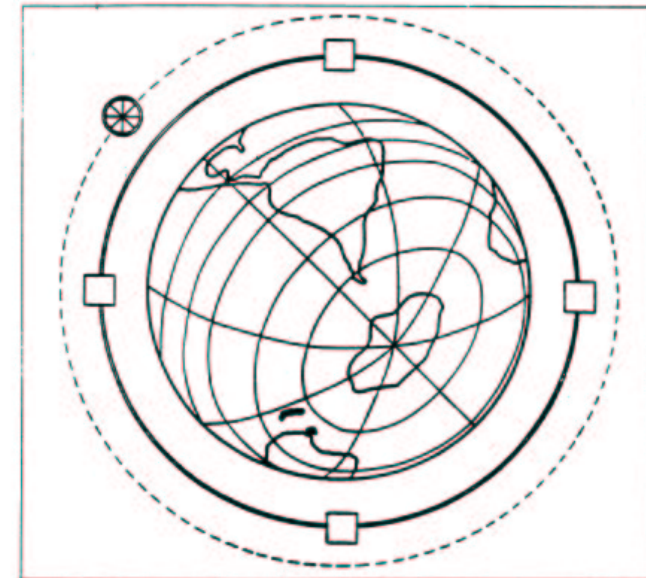
## Pomysł

- zbudować jak największy tunel (w granicach rozsądku)
  - wstawić “tani” akcelerator
  - modernizować akcelerator do wyższych energii w miarę rozwoju nowych technologii
- ⇒ kosztą rozłożone na wiele lat
- ⇒ cały czas w czołówce energii

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

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

E.Fermi, 1954:

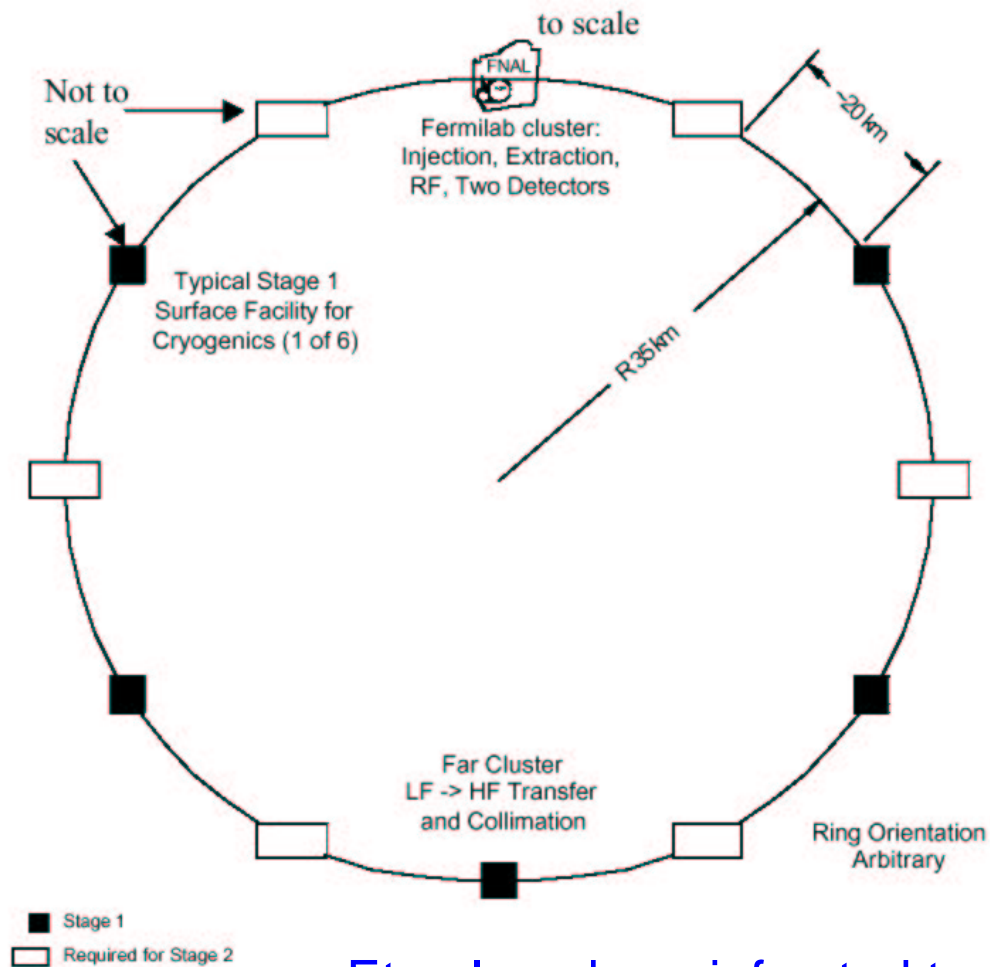


From a 1954 Slide by Enrico Fermi, University of Chicago Special Collections.

# VLHC

## Propozycja

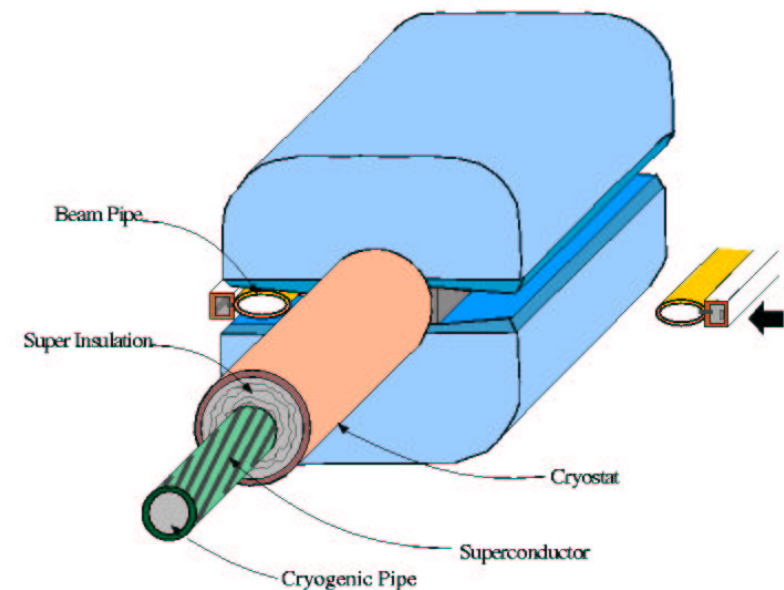
Oba detektory koło siebie ↓ (w Fermilabie)



Etap I : połowa infrastruktury

## Magnes dipolowy

Najprostsza (najtańsza) możliwa konstrukcja dla etapu I:



Pojedynczy prosty przewodnik  
 $I = 75\text{--}100 \text{ kA} \Rightarrow B \sim 2 \text{ T}$

# Zderzenia $\mu^+ \mu^-$

Pierwsze pomysły:  $\sim 1960$

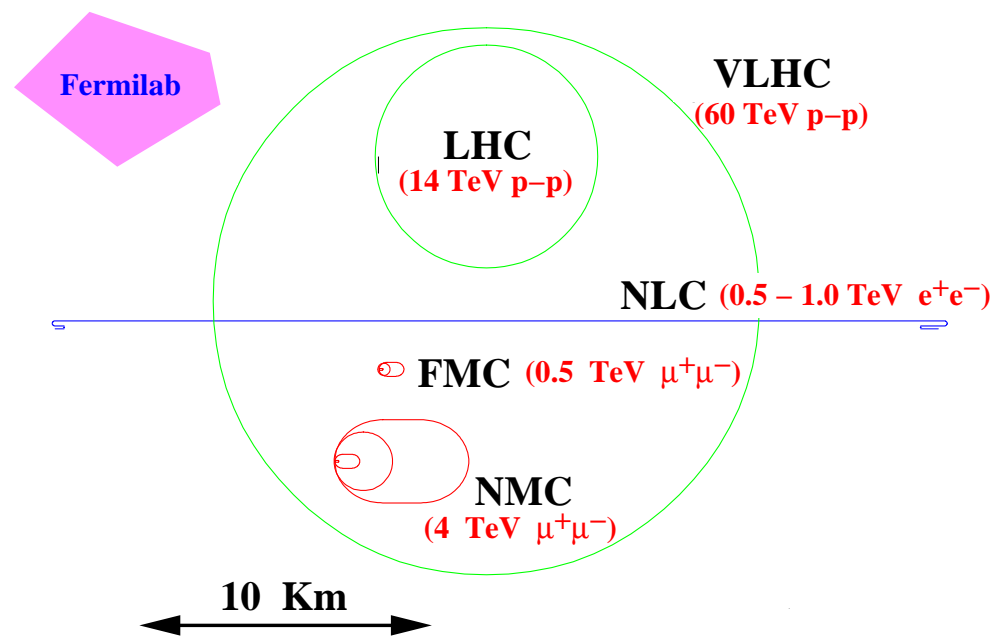
## Zalety

$$m_\mu/m_e \approx 207$$

- mniejsze promieniowanie hamowania
- $\Rightarrow$  dużo mniejszy pierścień (koszt !!!)
- $\Rightarrow$  wyższe energie (!)
- $\Rightarrow$  mniejsze rozmycie energii wiązek
- rezonansowa 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.

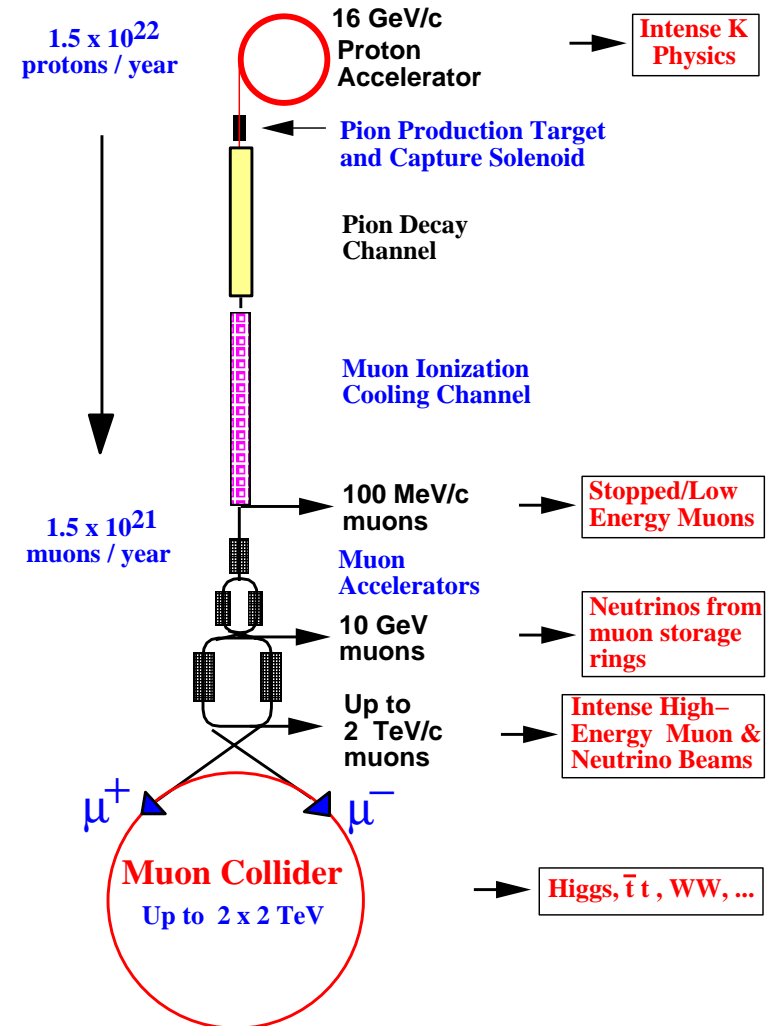
## Problem: **światłość**

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

## Muon Collider Schematic



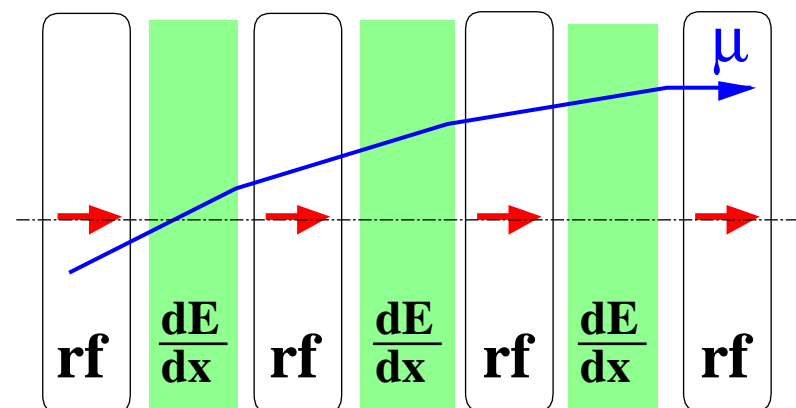
# Zderzenia $\mu^+ \mu^-$

## Chłodzenie jonizacyjne

Pomysł: Skrinsky i Parkhomchuk, 1981.

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

### Ionization Cooling



Efekt sumaryczny: **zmniejszenie pędów poprzecznych** wiązki  
⇒ **lepsze ogniskowanie** ⇒ **wyższa świetlność**

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

# Zderzenia $\mu^+ \mu^-$

## Fabryki neutrin

Rozpady mionów krążących w pierścieniu akumulacyjnym

⇒ intensywne źródło neutrin

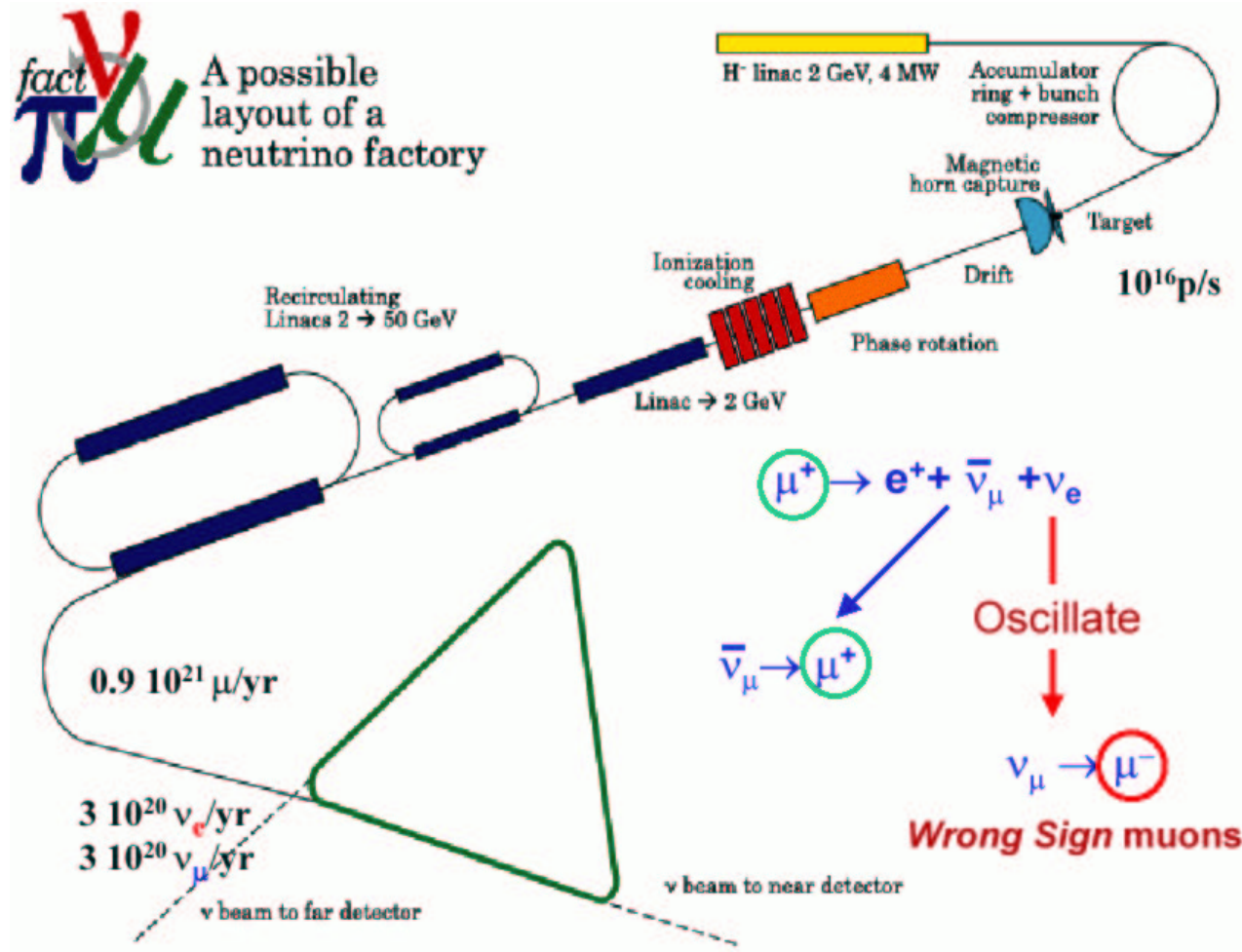
Proste odcinki pierścienia

⇒ "laser" neutrinowy

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

⇒ nowe era w badaniach neutrin

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







# Where do you prefer to take shifts?



Ostateczny projekt: 2007 (?)

Budowa: ?????

