

Perspektywy fizyki cząstek elementarnych

Elementy fizyki cząstek elementarnych

Wykład XIV

- LHC
- ILC
- ⇒ Photon Collider, CLIC
- Neutrino
- ⇒ akceleratory μ^\pm i fabryki neutrin
- Astro-cząstki...

Cele eksperymentów w HEP

Poszukiwania "nowej fizyki"

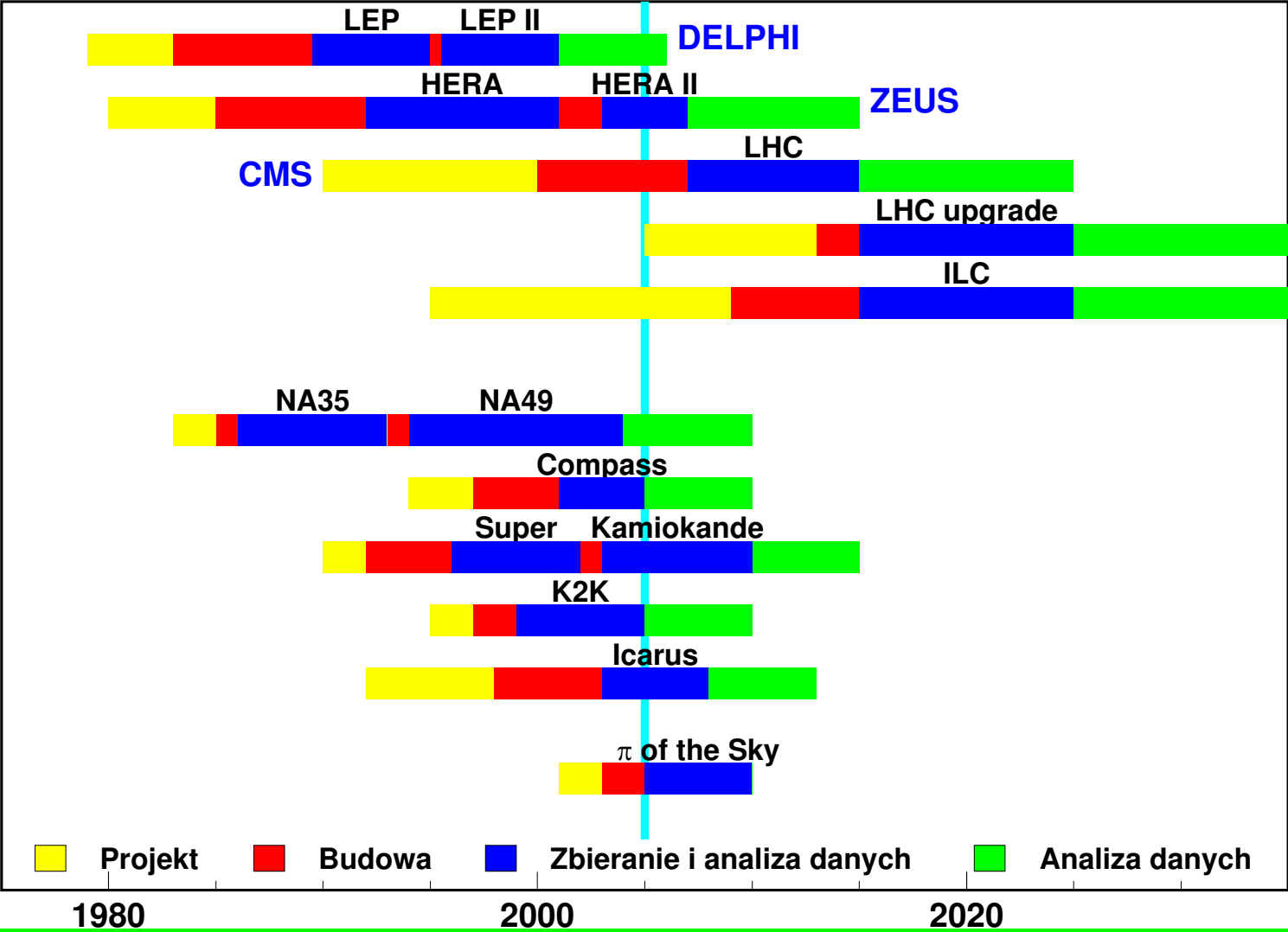
- poszukiwania bozonu Higgsa
- kolejnych generacji "standardowych" cząstek
- cząstek supersymetrycznych
- podstruktury kwarków i/lub leptonów
- ciemnej materii
- nowych oddziaływań
- naruszenia zasad zachowania

Pomiar parametrów i weryfikacja MS

- badanie własności cząstek
 - ⇒ mas np. W^\pm , Z^0 , t , ν ...
 - ⇒ sprzężeń
 - ⇒ kanałów rozpadów
- pomiar mieszania kwarków i leptonów (neutrino)
- pomiar łamania symetrii CP
- pomiar partonowej (kwarkowo-gluonowej) i spinowej struktury cząstek protonu, neutronu, fotonu...

Warszawska grupa HEP

Główne eksperymenty z udziałem fizyków z Warszawy



LHC

99.9% CL

Przeciwbieżne wiązki protonów,
 $\sqrt{s} = 14 \text{ TeV}$.

Bardzo wysoka świetlność.

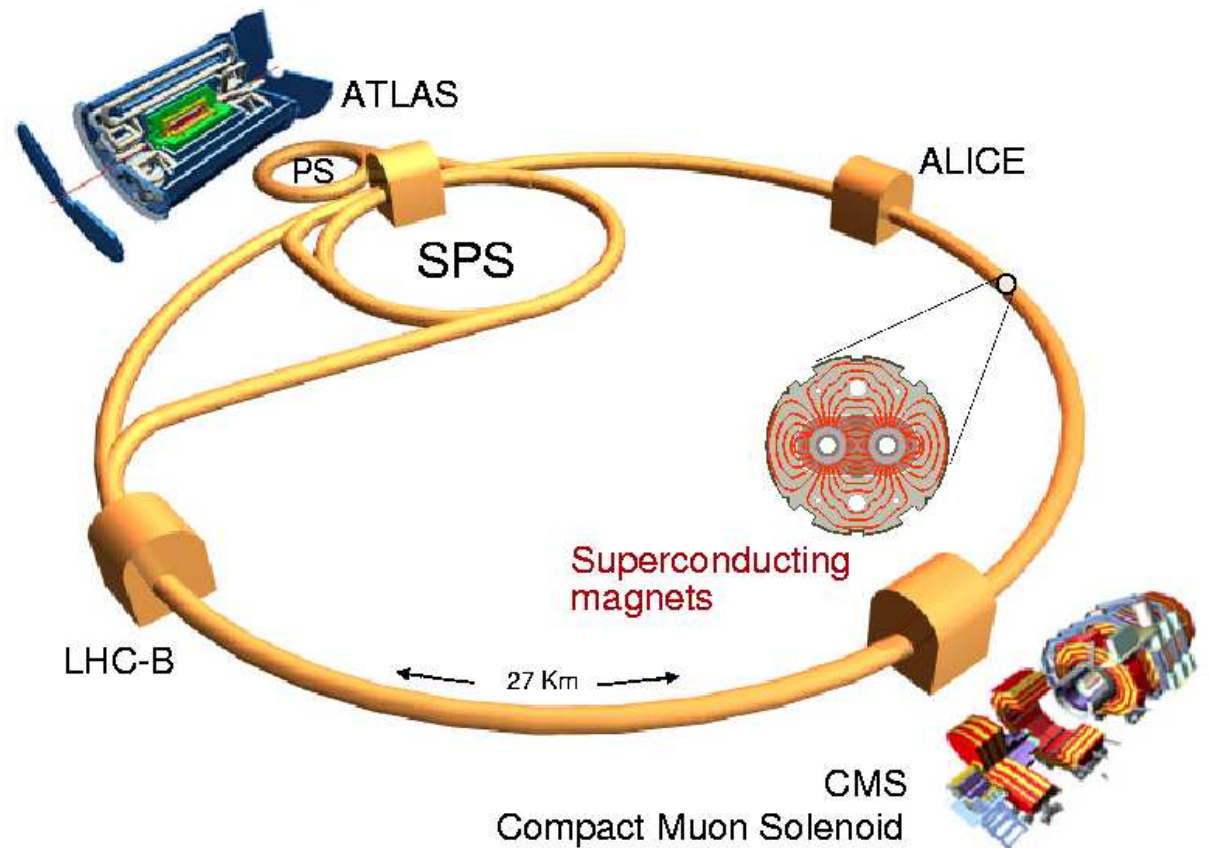
Akcelerator i eksperymenty:
w budowie.

Planowane uruchomienie: 2007.

Fizyka:

- Higgs
- supersymetria
- łamanie CP
- “polowanie” na wszystkie egzotyczne twory...

The Large Hadron Collider (LHC)



UX15 Geneva Tue Sep 21 14:30:02 2004



ATLAS
wrzesień 2004

UX15 Geneva Wed Jun 1 18:30:02 2005

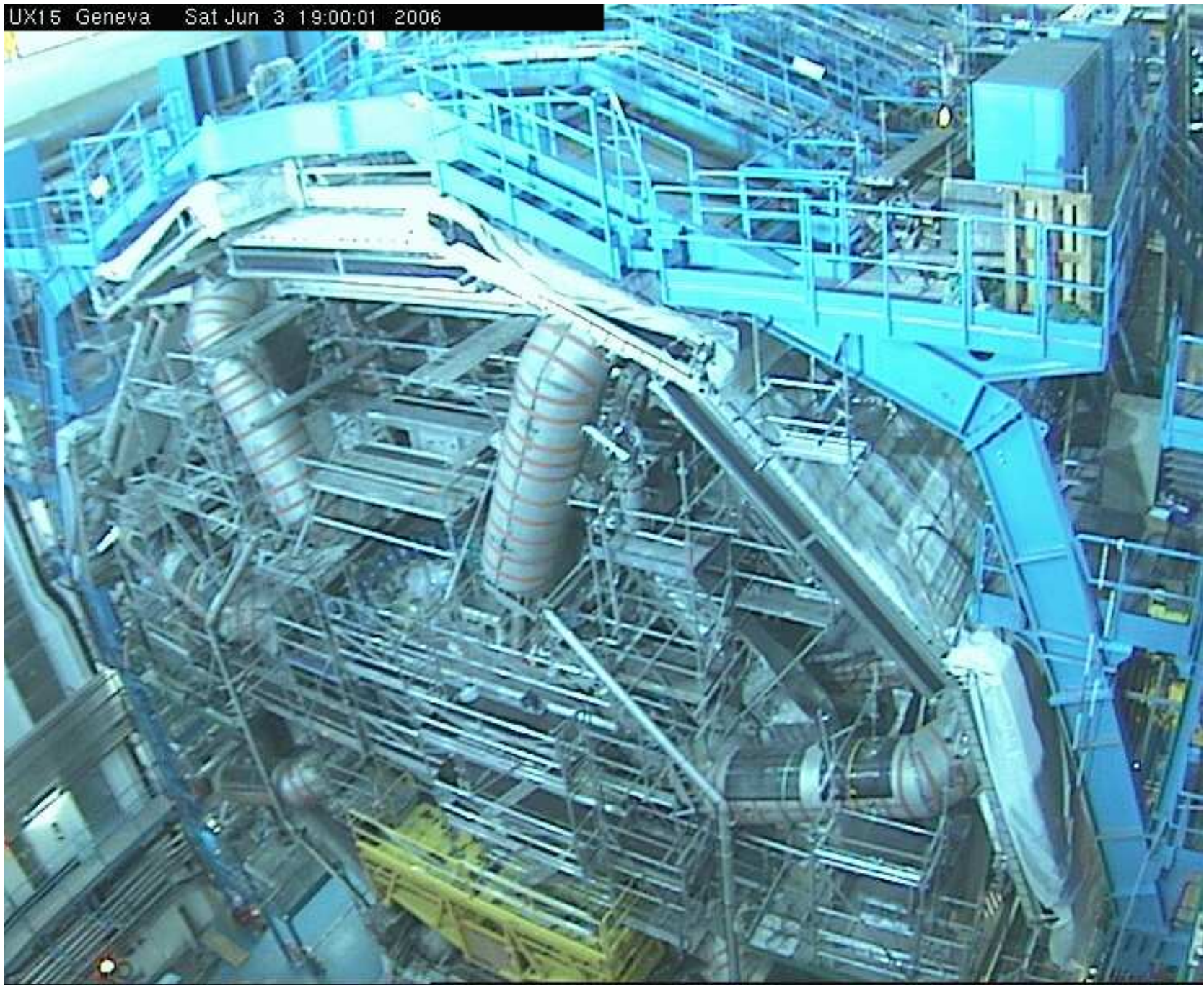
alan auxiliaire 2 5 t



ATLAS

czerwiec 2005

UX15 Geneva Sat Jun 3 19:00:01 2006



ATLAS
czerwiec 2006

International Linear Collider (ILC)

95% CL

Planowana jest już budowa kolejnego akceleratora - akceleratora liniowego e^+e^- .

Program fizyczny:

Precyzyjne pomiary

- kwarku t
- bozonu Higgsa
- cząstek supersymetrycznych
- wszystkiego co odkryje LHC...

Wymagane parametry:

- dostępna energia $\sqrt{s} = 200 - 500$ GeV,
- bardzo wysoka świetlnosc: $500 \text{ fb}^{-1}/4$ lata,
- wysoka polaryzacja wiązek,
- możliwość rozbudowy
m.in. o opcję $\gamma\gamma$

Projekt ogólnowiatowy

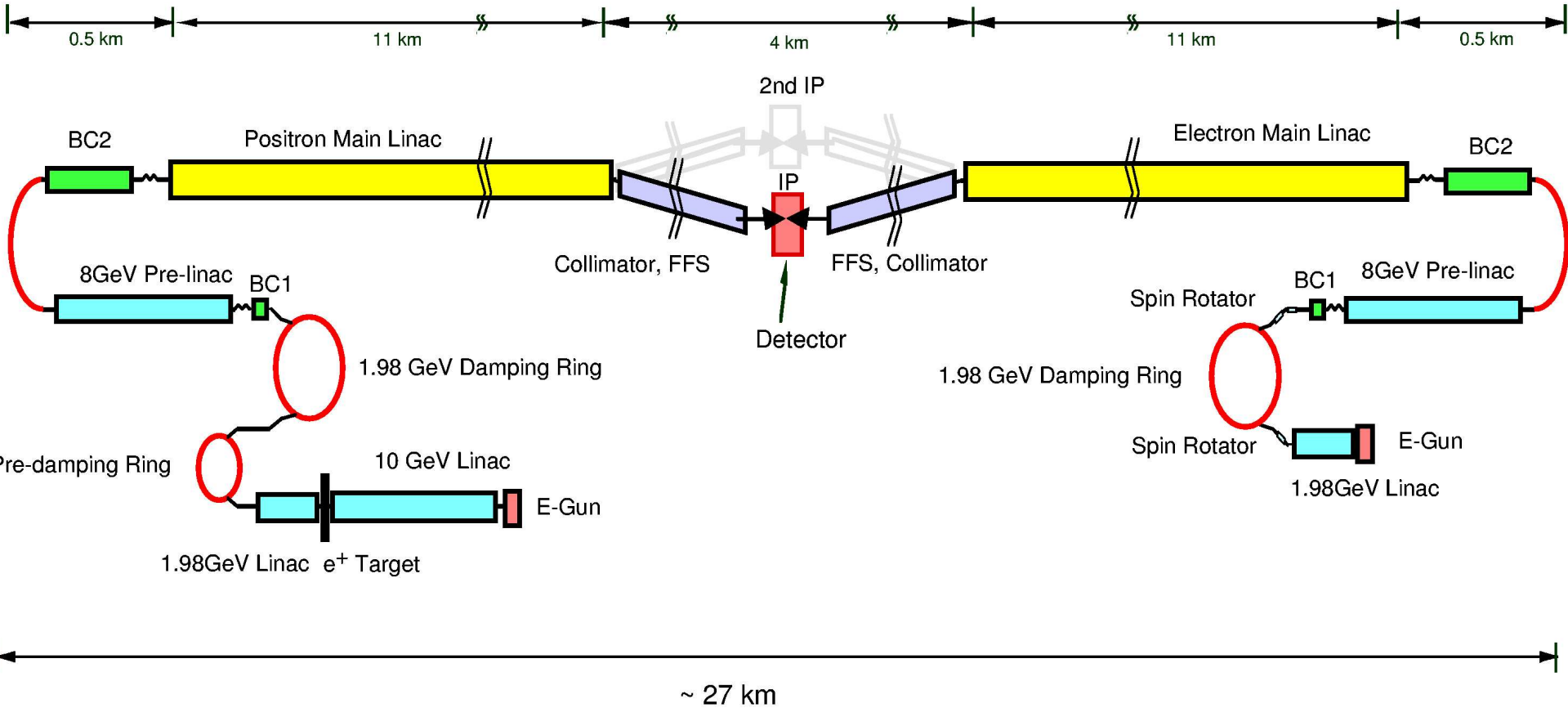
Szerokie poparcie jeśli chodzi o potrzebę budowy (silna motywacja fizyczna)!

Brak jednomyślności jeśli chodzi o czas i tryb podjęcia ostatecznej decyzji (finanse)...

ILC

Do niedawna rozważanych było kilka koncepcji budowy akceleratora

Projekt JLC (Japonia):



ILC

Główna różnica między projektami - **metoda przyspieszania** wiązek:

- projekty **JLC** i **NLC** - “**ciepłe**” wnęki przyspieszające
- projekt **TESLA** - “**zimne**” (nadprzewodzące) wnęki przyspieszające
- projekt **CLIC** - jeszcze w fazie testów, nie był rozważany

W **sierpniu 2004** międzynarodowa komisja zdecydowała, że ILC powinien być zbudowany w oparciu o technologię **nadprzewodzących** wnek przyspieszających.

- mniejsze straty energii
- większa stabilność
- większa niezawodność

Ostateczny projekt ILC powinien powstać do roku **2008**.

Decyzja o budowie: **2010 ?** **Uruchomienie:** **2015 ?**

Raport Komitetu Amerykańskiej Akademii Nauk

Rekomendujący kierunki rozwoju na kolejne 15 lat

kwiecień 2006

Revealing the Hidden Nature of Space and Time

Charting the Course for Elementary Particle Physics

Committee on Elementary Particle Physics in the 21st Century

Board on Physics and Astronomy

Division on Engineering and Physical Sciences

NATIONAL RESEARCH COUNCIL
OF THE NATIONAL ACADEMIES

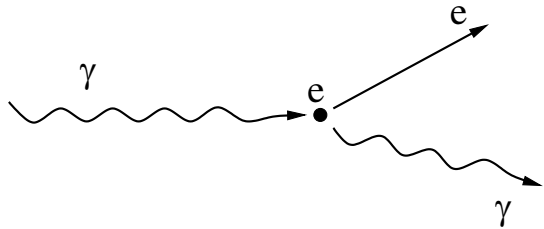
The Recommendations

- **The US should remain globally competitive in HEP and play a leading role in the worldwide effort:**
 - 1) fully exploit opportunities at LHC**
 - 2) world-leading centre for ILC R&D + mount a compelling bid to build ILC in the US**
 - 3) expand particle astrophysics programme + collaborate internationally on neutrinos**

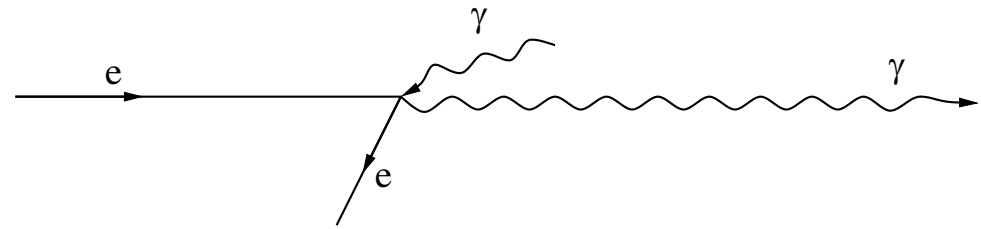
Zderzenia $\gamma\gamma$

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** !

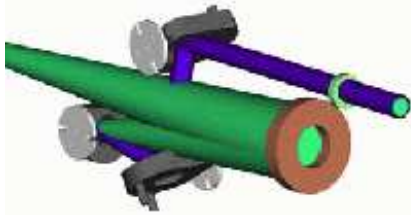
Photon Collider (opcja ILC)

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

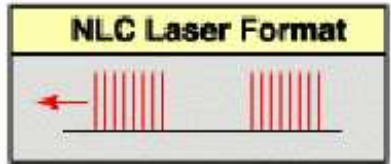
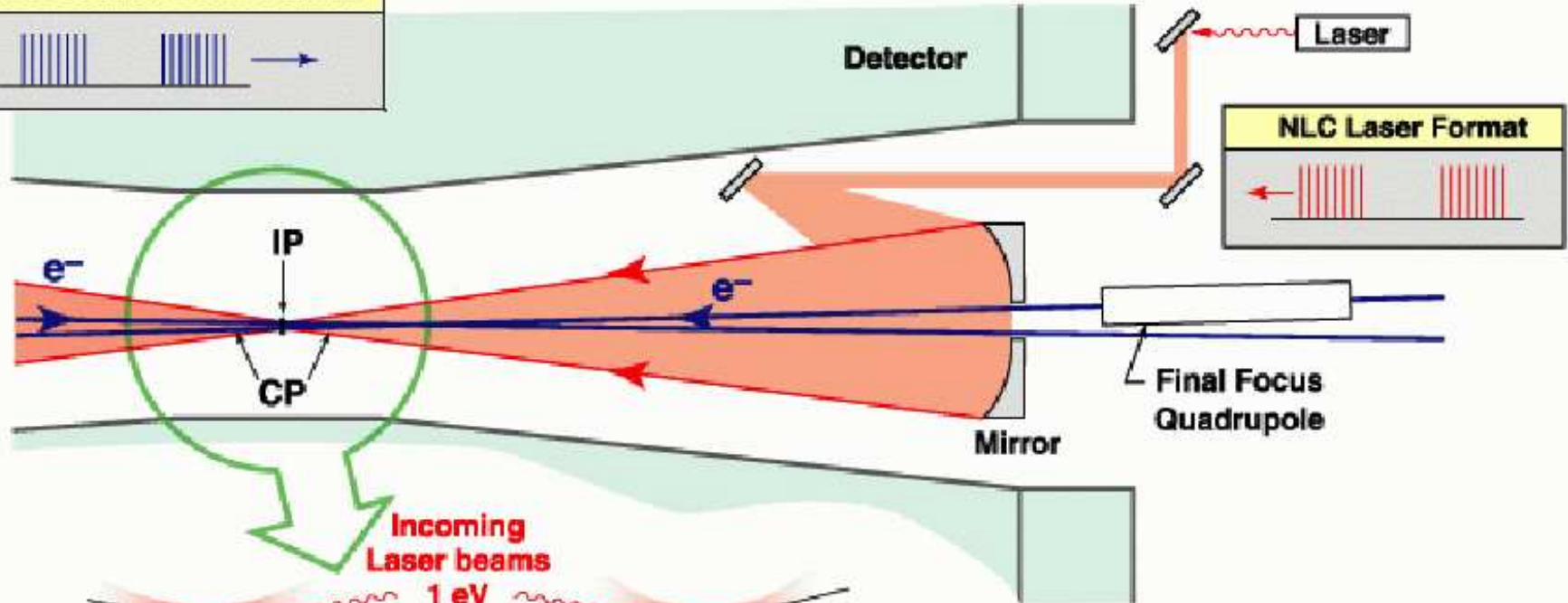
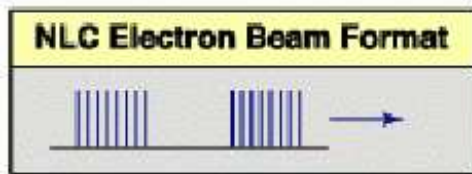
Wykorzystując **niezwykle silny laser** możemy uzyskać prawie pełną “zamianę” wiązki elektronowej w fotonową...

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 $\mathcal{L}_{\gamma\gamma} \sim \mathcal{L}_{ee}$

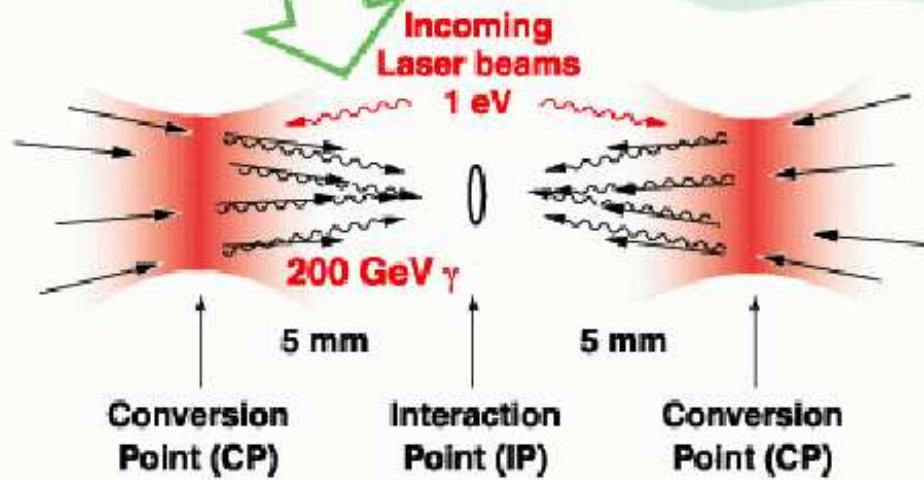


Photon Colliders – The marriage of lasers and electron linear colliders



Projekt NLC
 e^- : 250 GeV

$\gamma \sim 200$ GeV



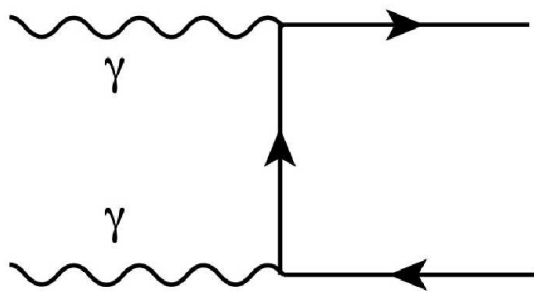
NLC Laser

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

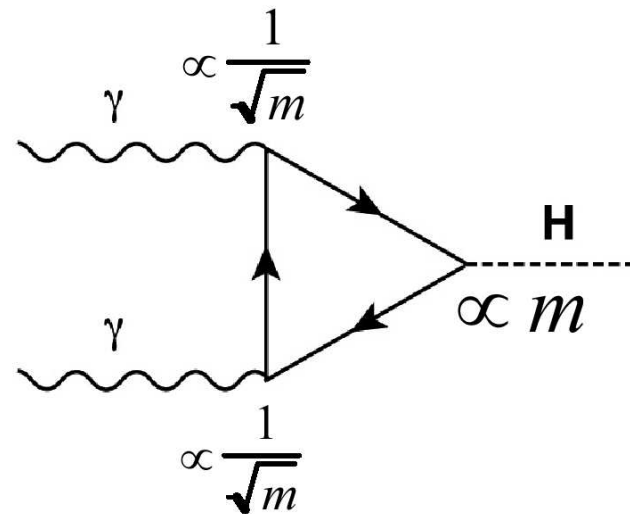
Photon Collider

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...

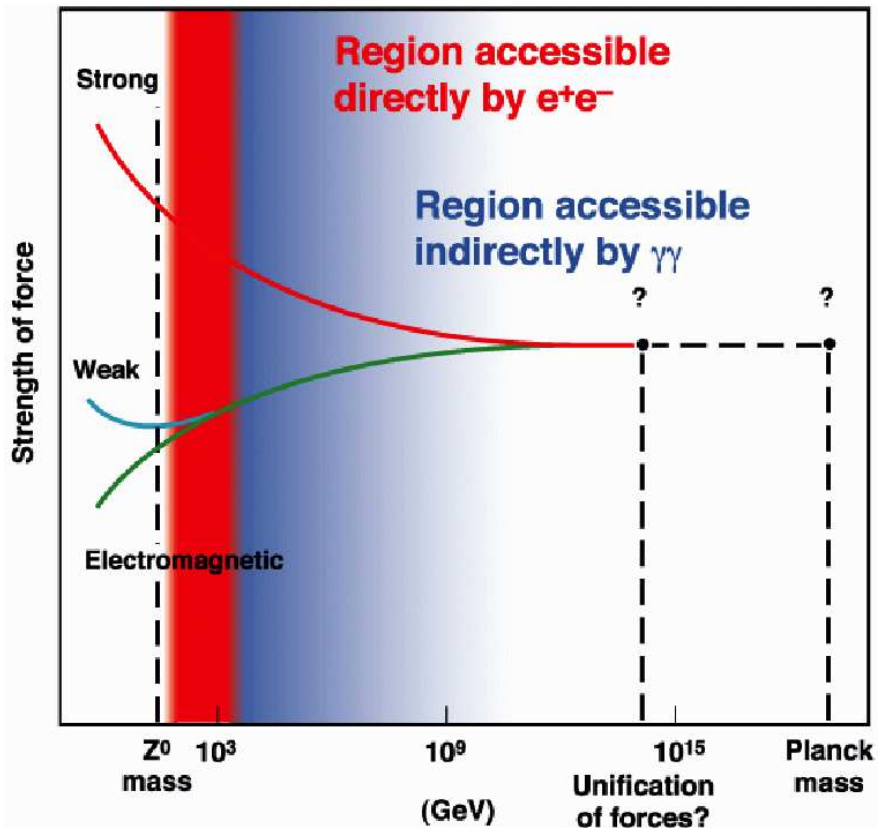
Ale **sprężenie Higgsa** jest proporcjonalne do **masy** !

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

Photon Collider

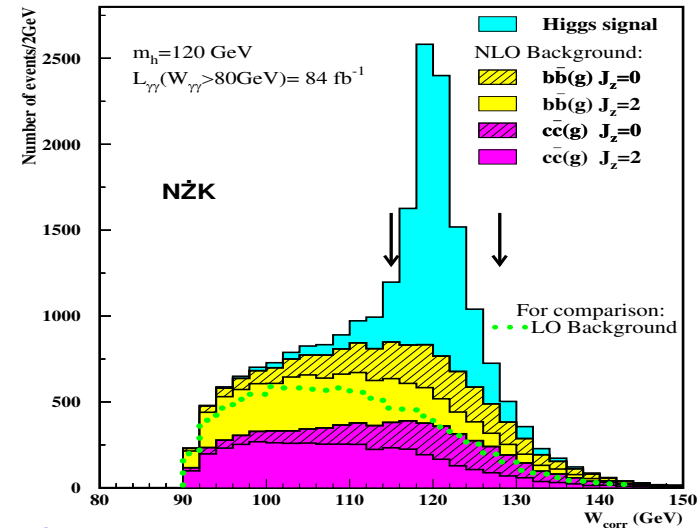
Fizyka

Jedyny kolajder, który może “sięgnąć”
skali unifikacji

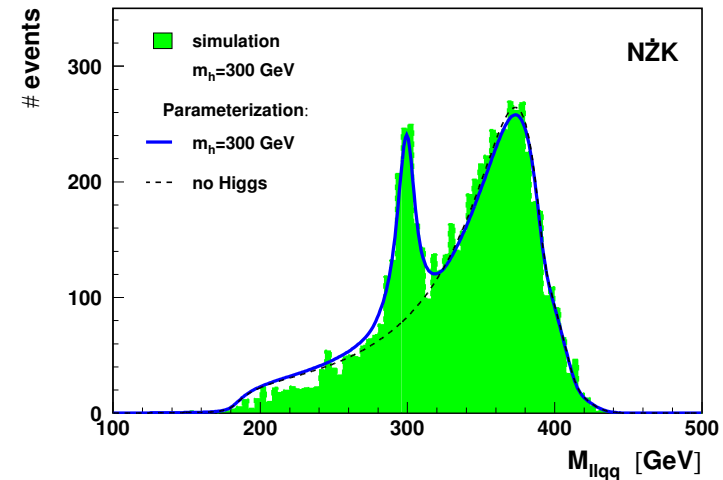


Wyniki symulacji prowadzonych w Warszawie:

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



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



???

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)

CLIC

Akceleratory liniowe

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

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

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 $\mathcal{E} \sim 150 \text{ MV/m}$

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

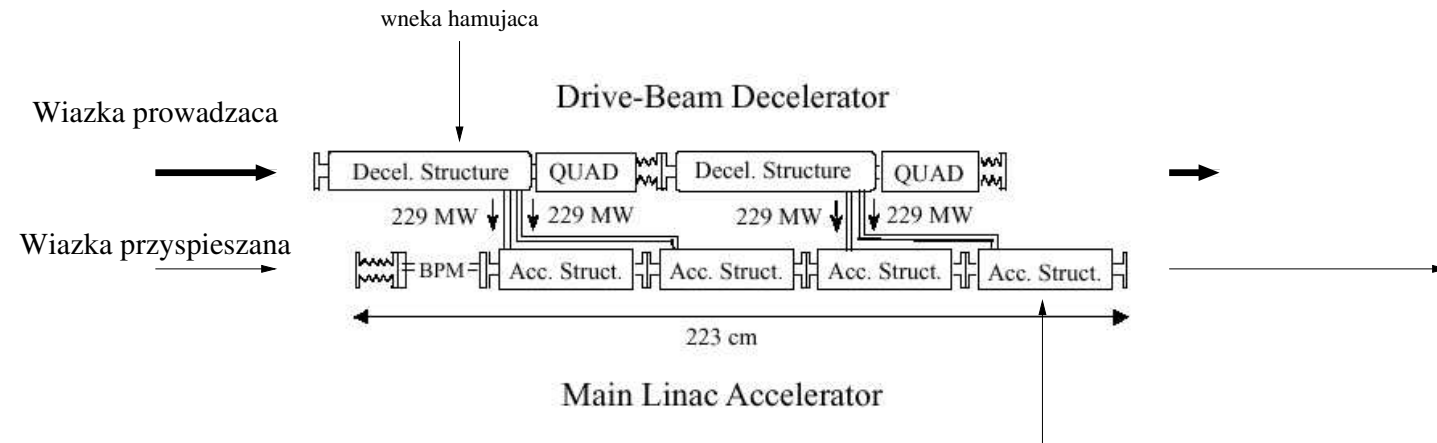
Jedyny problem: nie wiadomo czy zadziała...

(ILC: technologia sprawdzona w 99%)

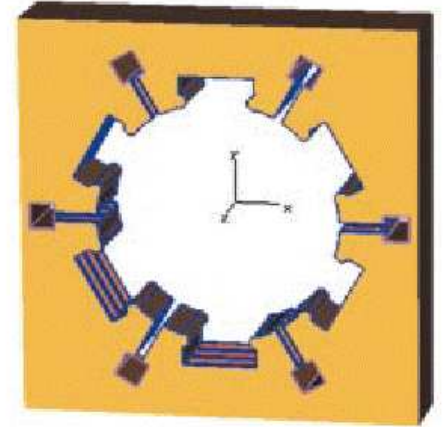
CLIC

Zasada działania

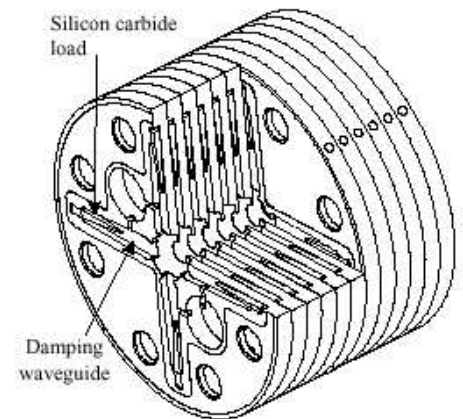
Wiązka prowadząca wytwarza pole elektryczne (falę EM), które przyspiesza drugą wiązkę:



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

Weryfikacja koncepcji ~ 2010 (?), projekt ~ 2015 (??), uruchomienie > 2020 (???)

Zderzenia $\mu^+ \mu^-$

Pierwsze pomysły: ~ 1960

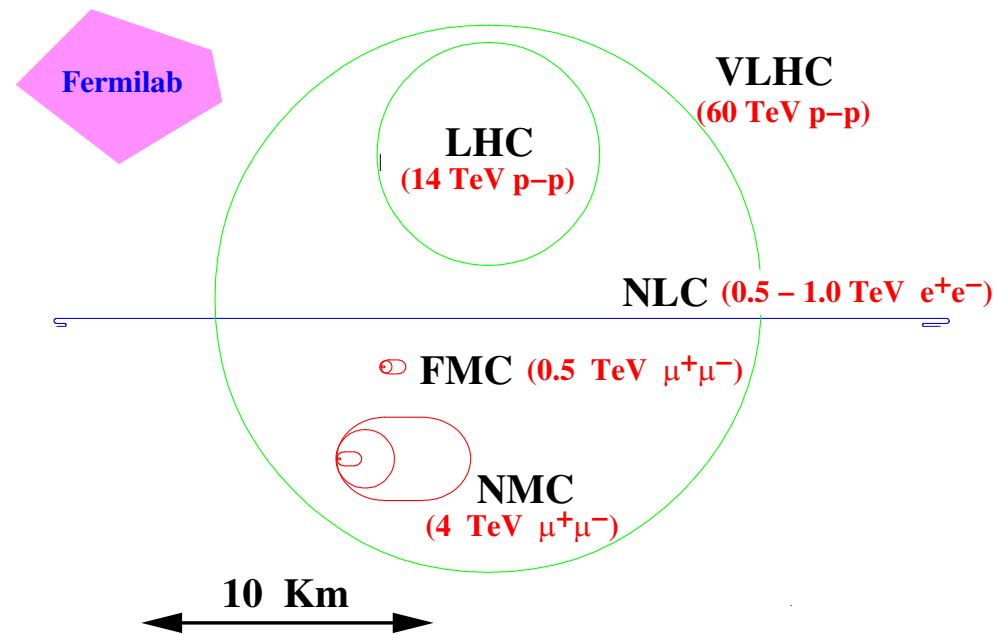
Zalety

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

- 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.

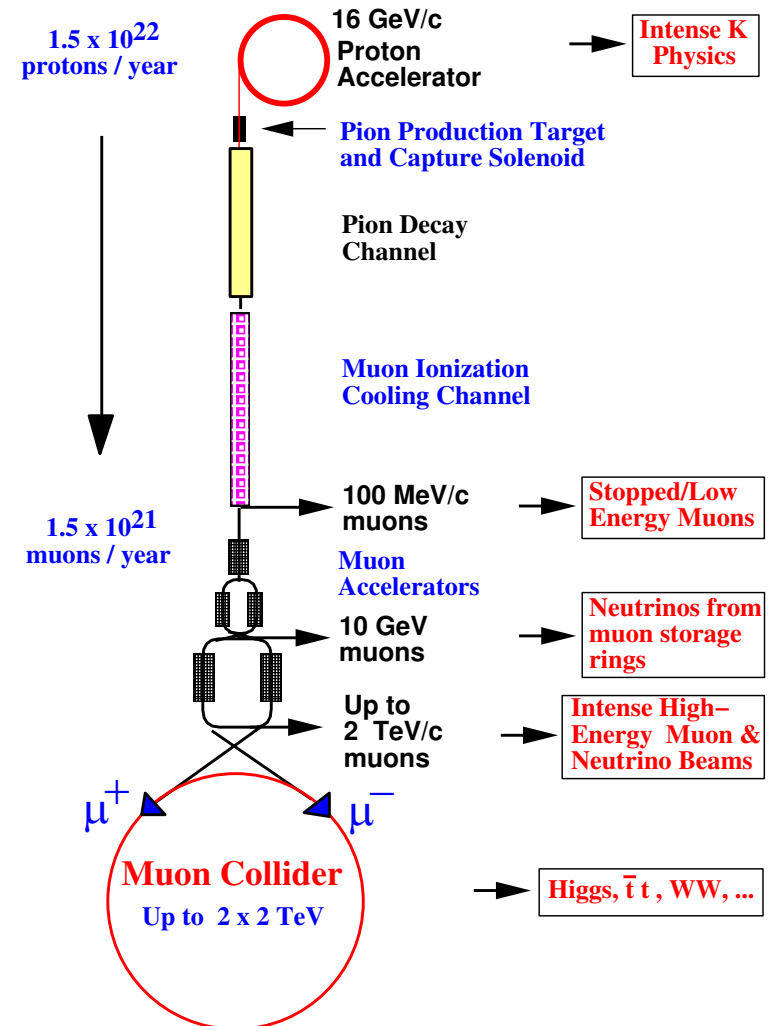
Problem: **światłość**

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

Wymagania

- intensywne źródło mionów
rozpady π^\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



5

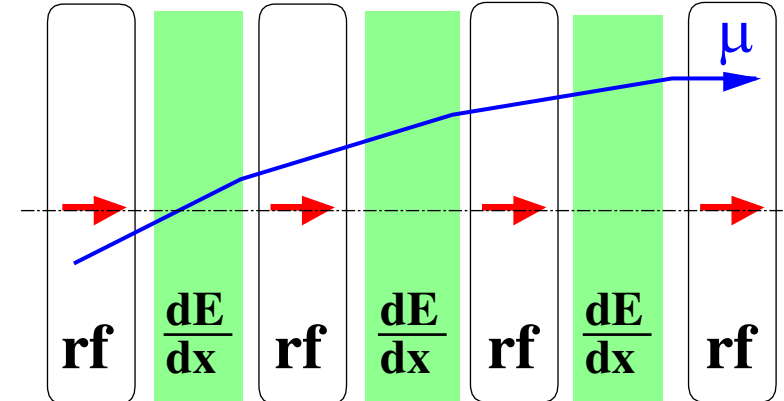
Zderzenia $\mu^+ \mu^-$

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

Fabryki neutrin

Wiązka μ^\pm

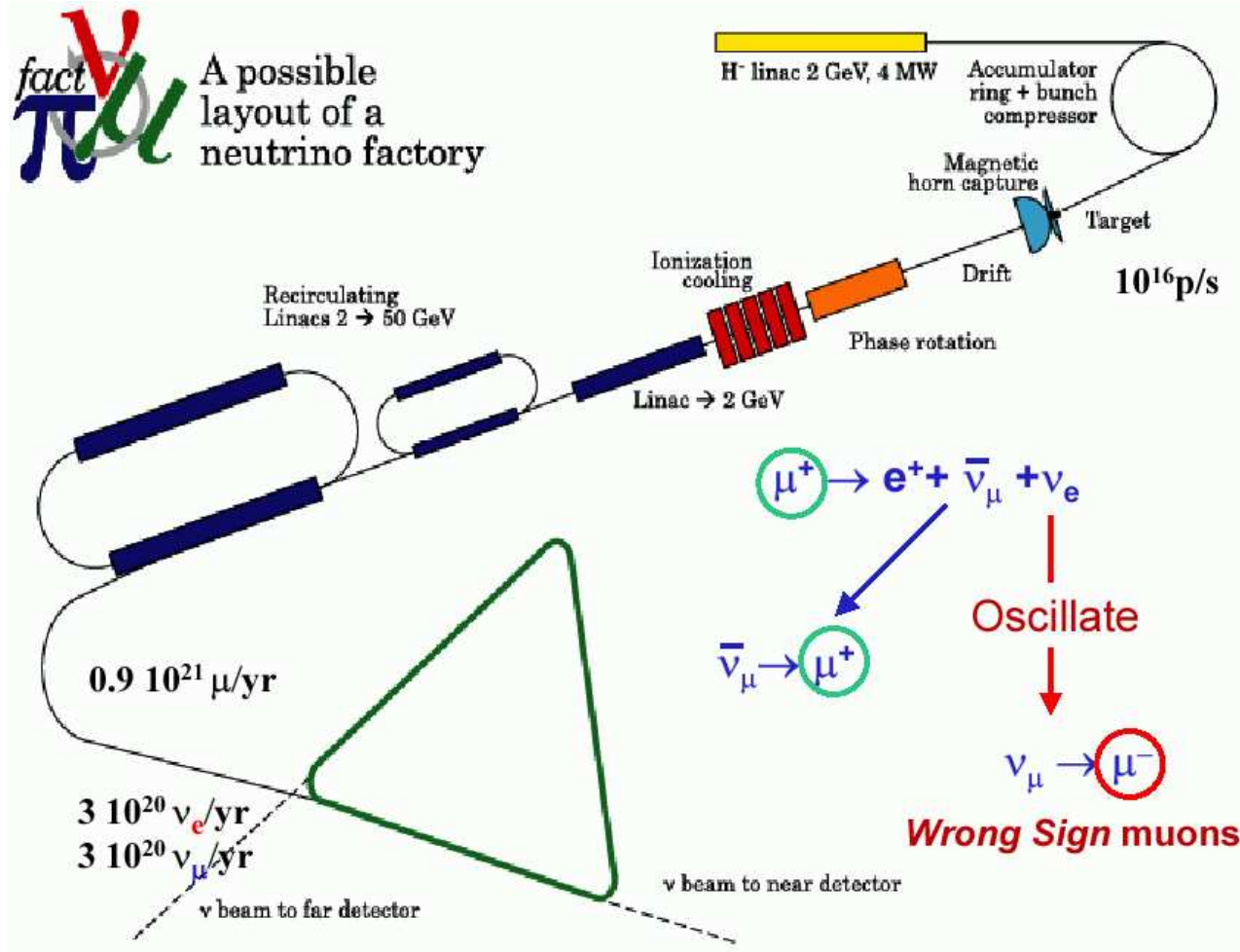
Rozpady mionów krążących w pierścieniu akumulacyjnym
 \Rightarrow intensywne źródło neutrin

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) $\mu^+ \mu^-$

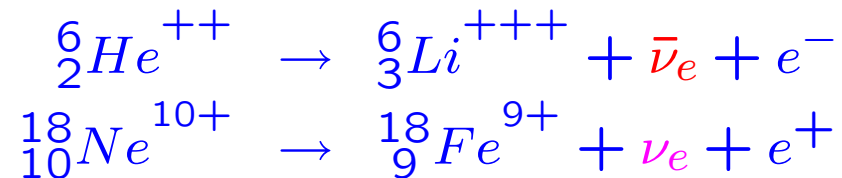


Fabryki neutrin

W fabryce neutrin opartej na akceleratorze mionów zawsze otrzymujemy **mieszankę** neutrin **mionowych** i **elektronowych** ! $(\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu)$
 \Rightarrow konieczny jest pomiar znaku leptonu produkowanego w oddziaływaniu...

Wiązki Beta

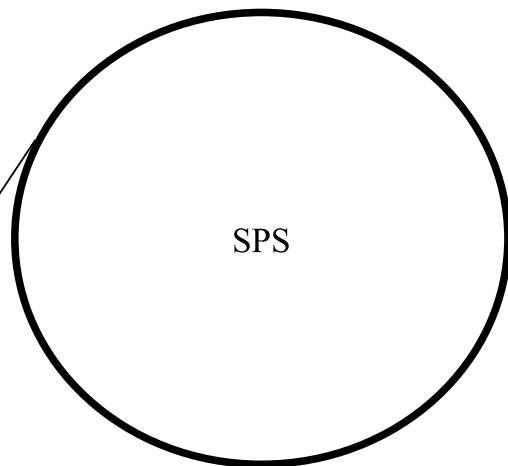
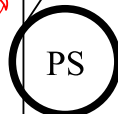
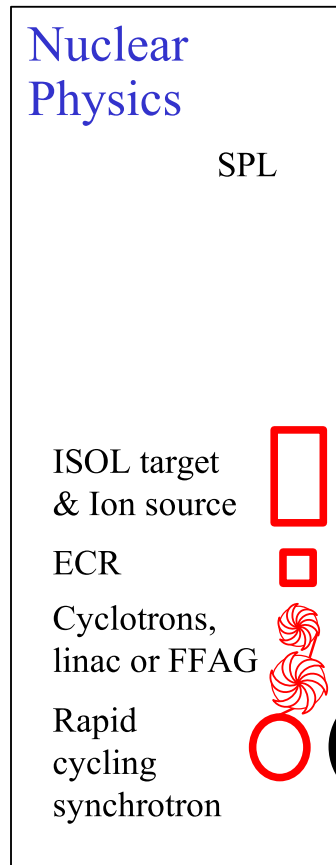
“Czystym” źródłem neutrin (**lub antyneutrin**) elektronowych są jądra promieniotwórcze.
Przykładowo:



Jeśli **promieniotwórcze jądra** uformujemy w szybko poruszającą się **wiązkę** ($\gamma \sim 100 - 1500$) to neutrina z rozpadu będą bardzo **silnie skolimowane**...



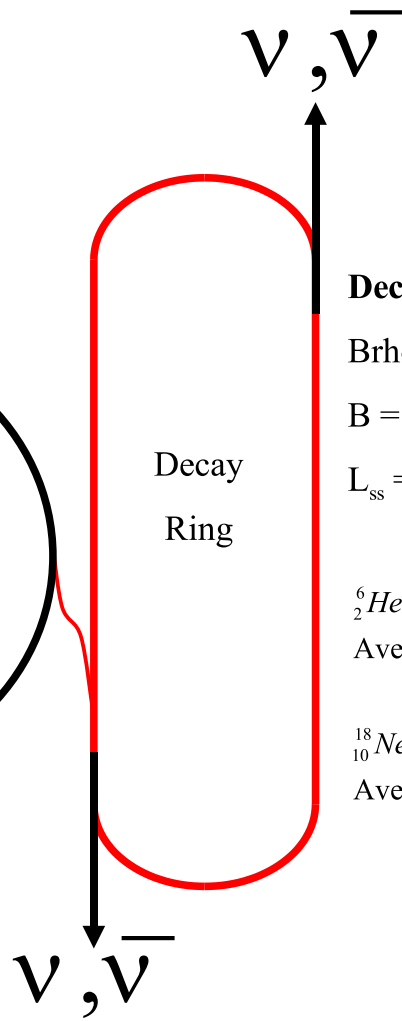
Proponowany schemat wiązki beta neutrin w CERN



Decay ring
Brho = 1500 Tm
B = 5 T
L_{ss} = 2500 m

${}^6_2\text{He} \rightarrow {}^6_3\text{Li} e^- \bar{\nu}$
Average $E_{cms} = 1.937$ MeV

${}^{18}_{10}\text{Ne} \rightarrow {}^{18}_9\text{Fe} e^+ \nu$
Average $E_{cms} = 1.86$ MeV



RNB 6

The beta-beam study group



Where do you prefer to take shifts?



Proponowane lokalizacje eksperymentów dla fabryki neutrin w CERN



Eksperymenty neutrinowe

Fabryki neutrin i wiązki β (oraz hiper-detektory ν) są wciąż w fazie projektów i testów...

Na dzień dzisiejszy zatwierdzone są tylko eksperymenty z wiązkami “klasycznymi”:

MINOS

Wiązka Fermilab → Soudan, uruchomiony **2005**.

CNGS

CERN → Gran Sasso, odległość około 730 km.

Eksperymenty **OPERA** i **ICARUS**.

Zbieranie danych od 2006 roku (?)

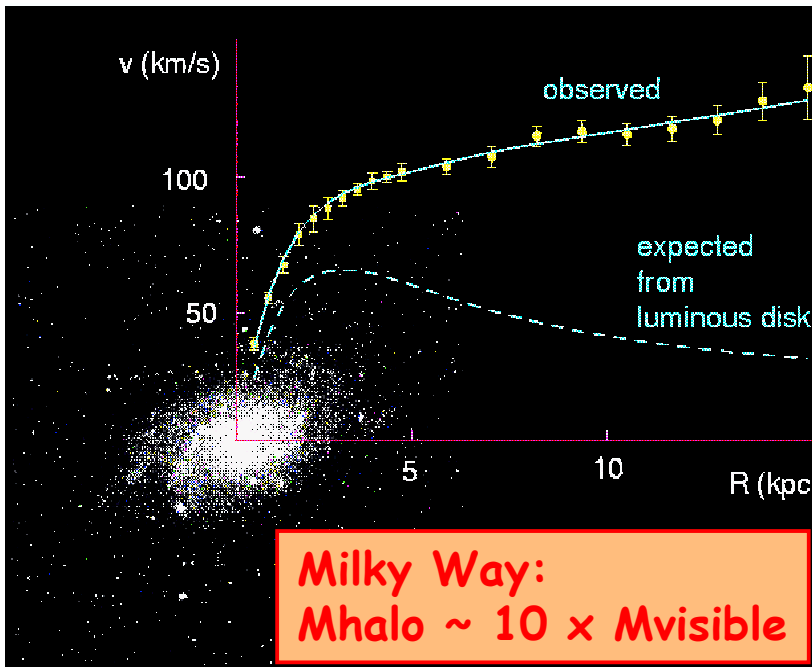
T2K

Tokai → Super-Kamikande, odległość około 300 km.

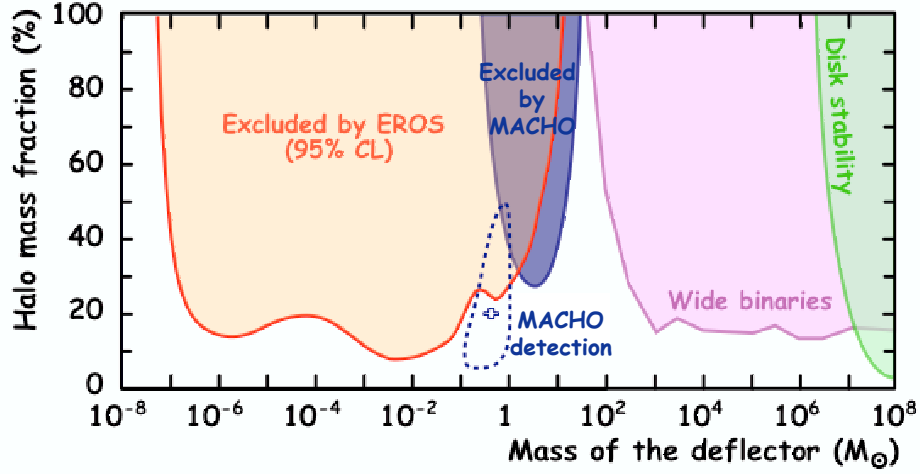
Nowy akcelerator protonów o wysokiej intensywności.

Początek planowany na rok 2009...

"Ciemne" halo Galaktyki



Microlensing \Rightarrow baryonic matter not the solution



**A dark non-baryonic halo,
 $\rho \sim 0.3 \text{ GeV} / \text{cm}^3$
 $v \sim 220 \text{ km} / \text{s}$**

January 31, 2006

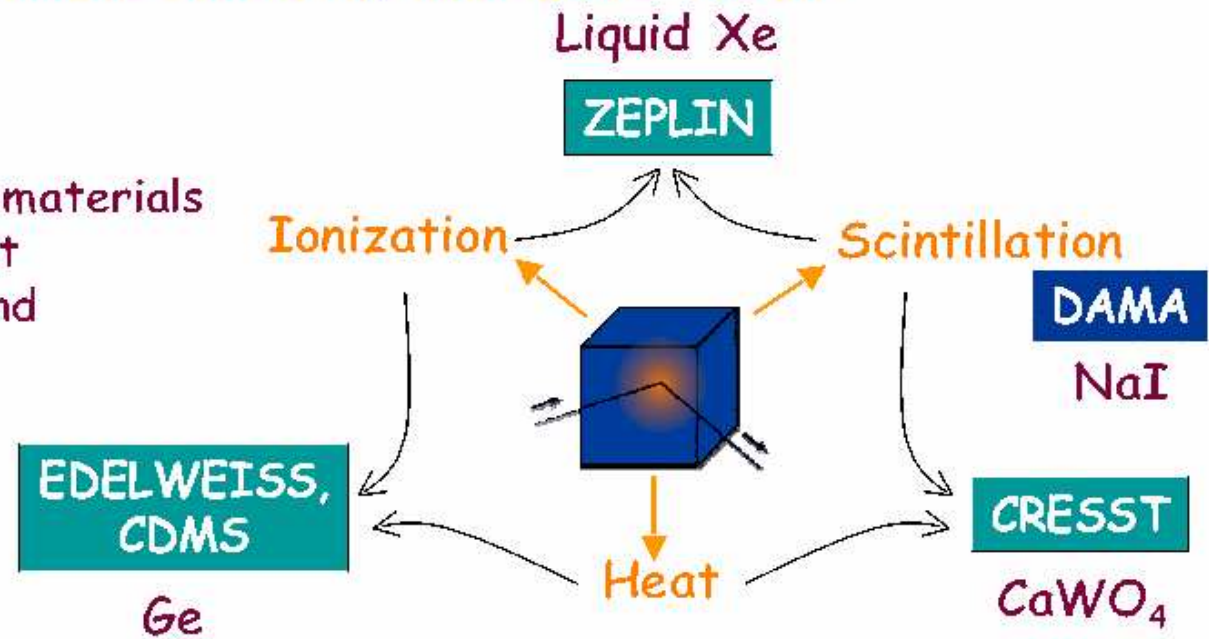
Non accelerator physics
Nathalie Palanque-Delabrouille

3

Detekcja WIMP

WIMP: elastic scattering on detector nucleus

- 1evt / kg / day
- Deep underground
- Low radioactivity of materials
- Discrimination against radioactive background



Nuclear (vs. electronic) recoil discrimination: event by event or statistical

WIMP signal Radioactive background

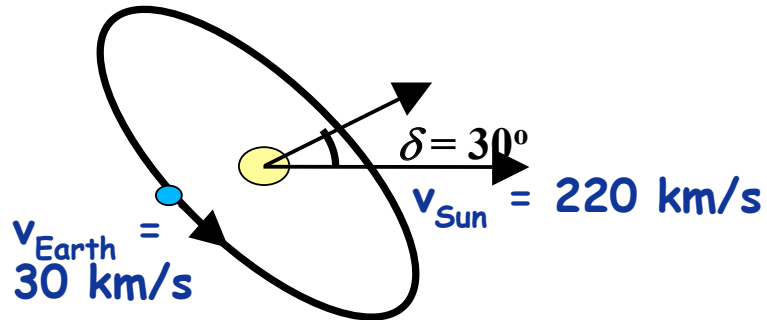
January 31, 2006

Non-accelerator physics
Nathalie Palanque-Defabrouille

1

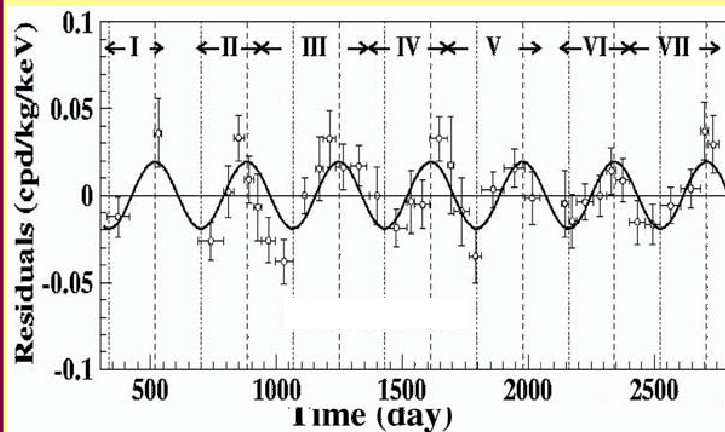
DAMA: efekt ruchu Ziemi ?

a possible WIMP signature

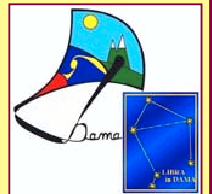


Motion of Earth in the χ wind

Modulation of annual rate $\pm 7\%$
Max in June



DAMA:
Total exposure of 295 kg.yr
Annual modulation at 6.3σ
 $m_\chi \sim 44-62 \text{ GeV}$



BUT
1 signature only
Result in contradiction with other expts.

2nd phase 250 kg (NaI) LIBRA running

Nathalie Palanque-Delabrouille

Particle astrophysics

or the use of multi-messengers

The high energy Universe as seen with

Cosmic rays

Charged (\Rightarrow do not point except at UHE)
Highest energies observed

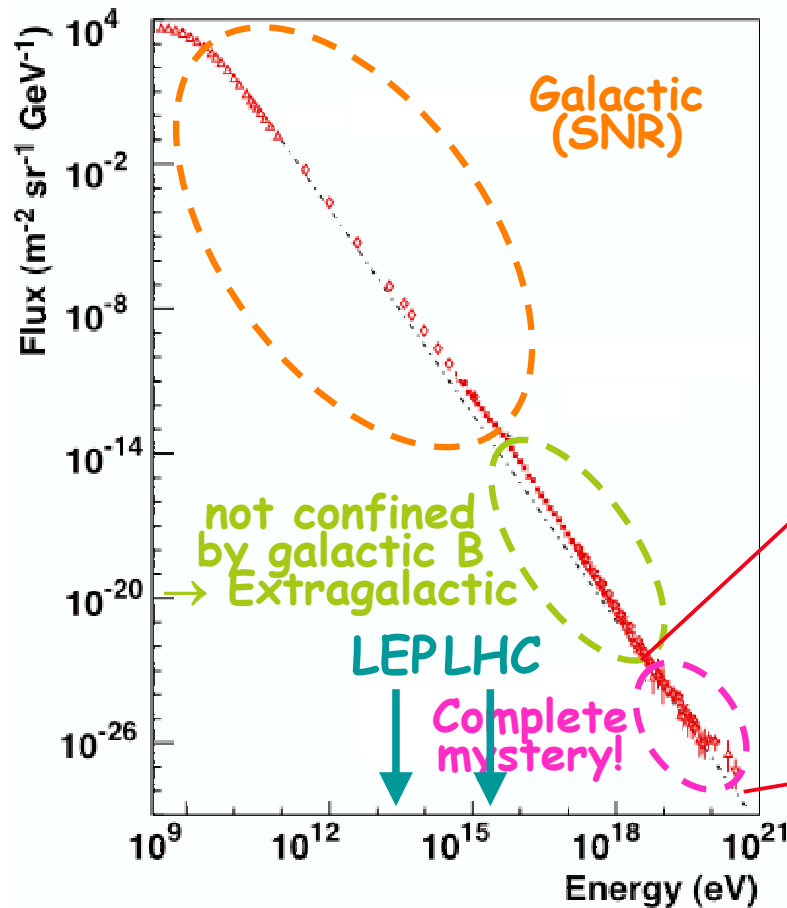
Gamma rays

Traditional messenger yet unexplained phenomena (GRBs...)

Neutrinos

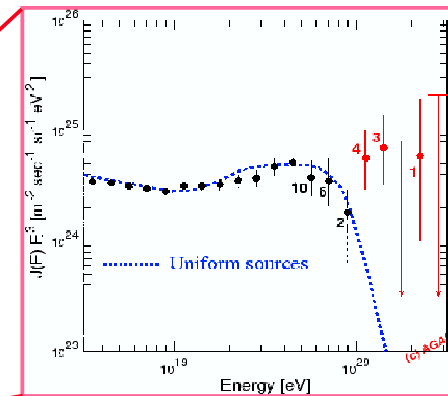
Most challenging to detect, but no GZK

On the Ultra High Energy side



AGASA: 17 events above 6×10^{19} eV
HiRes : 2 events (~ 20 expected)

cross calibration needed



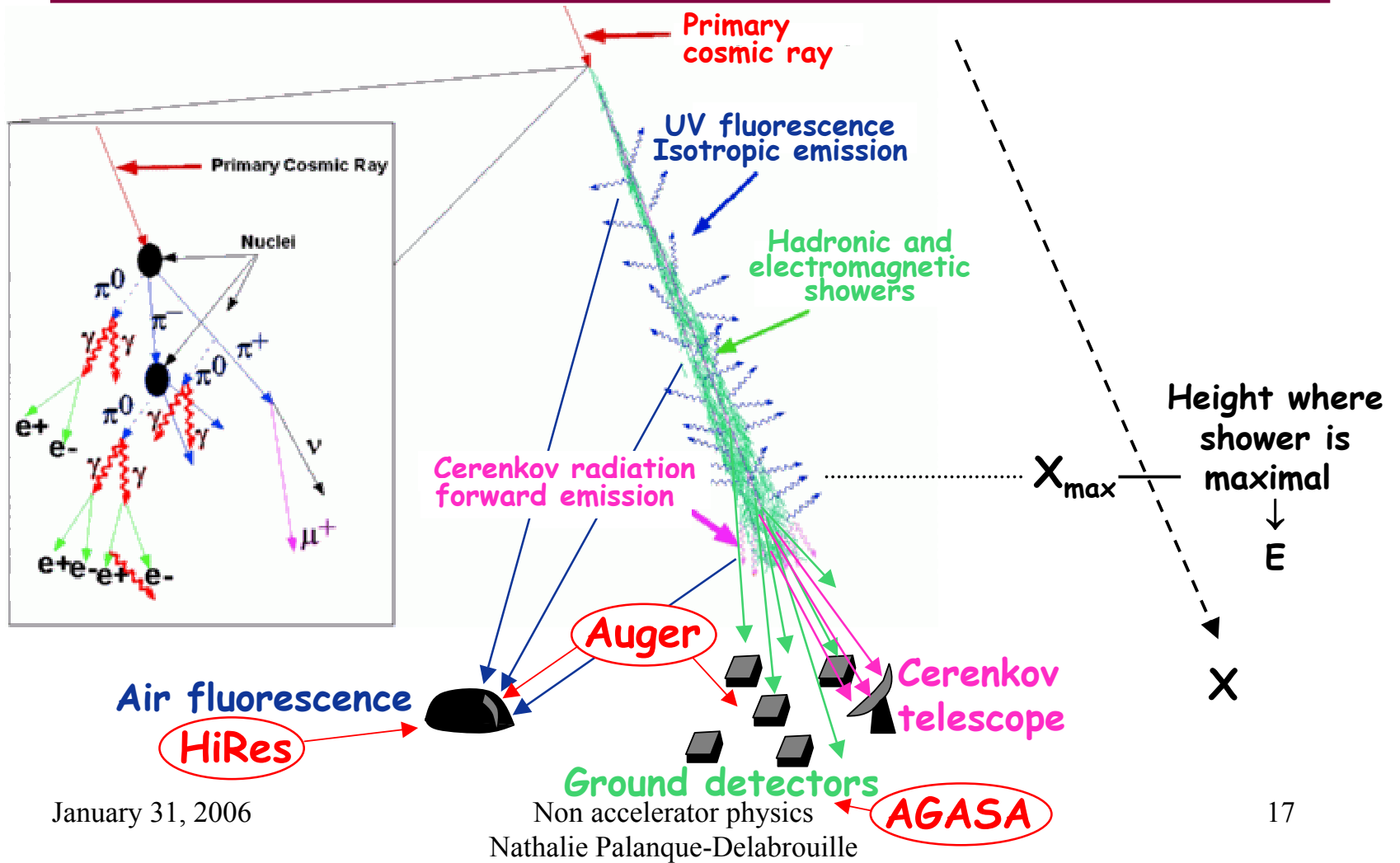
$E_{\max} = 3.2 \cdot 10^{20} \text{ eV} = 50 \text{ J} !$

January 31, 2006

Non accelerator physics
Nathalie Palanque-Delabrouille

16

Detection techniques for UHECR



January 31, 2006

Non accelerator physics
Nathalie Palanque-Delabrouille

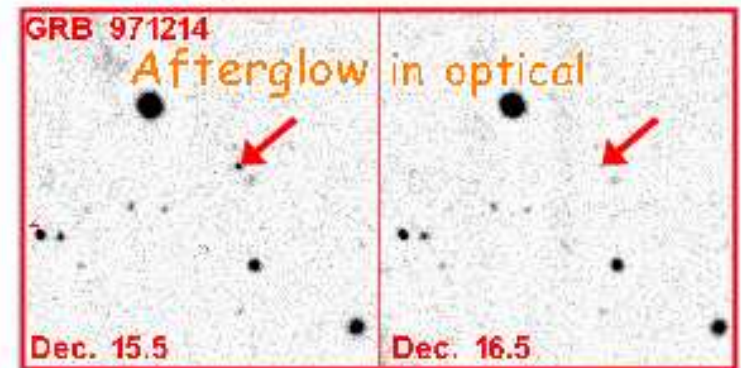
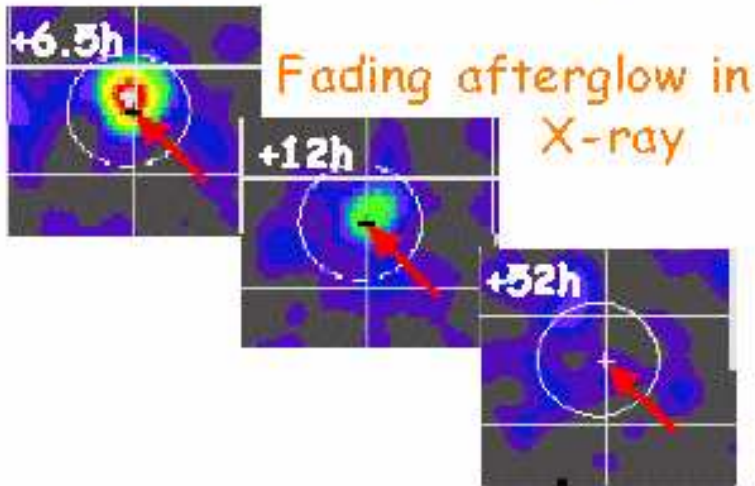
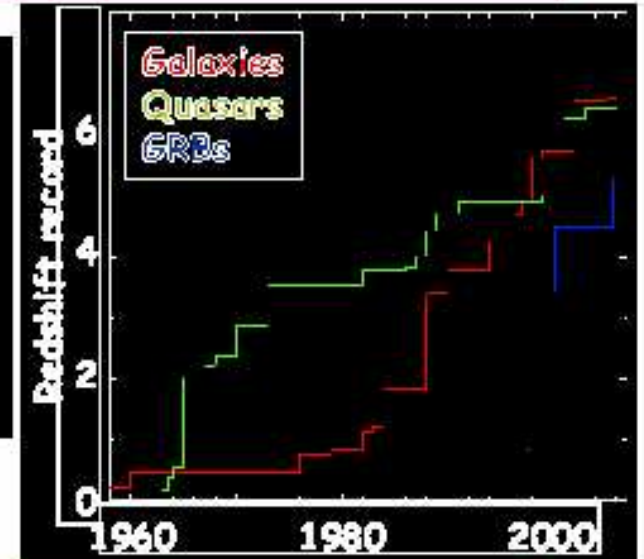
17

Gamma Ray Bursts

Optical counterparts



Cosmological phenomena!
out to $z = 6.3$ (Sept. 2005)



January 31, 2006

Nature Accelerated Physics
Nature's Paramount Declaration

21

Błyski gamma

ang. Gamma Ray Bursts (GRB)

- krótkie (0.1-100s) pulsy promieni gamma z punktowych źródeł na niebie
- odkryte w 1967r. przez satelity szpiegowskie USA
- “świecą” jaśniej niż cała reszta nieba
- największe obserwowane kataklizmy
 $10^{51} \text{ erg} = 10^{44} \text{ J} = 0.001 M_{\text{Słońca}} c^2$
- pochodzą spoza Galaktyki
- częstość: ~3 dziennie (obecnie rejestrowane ~3/miesiąc)

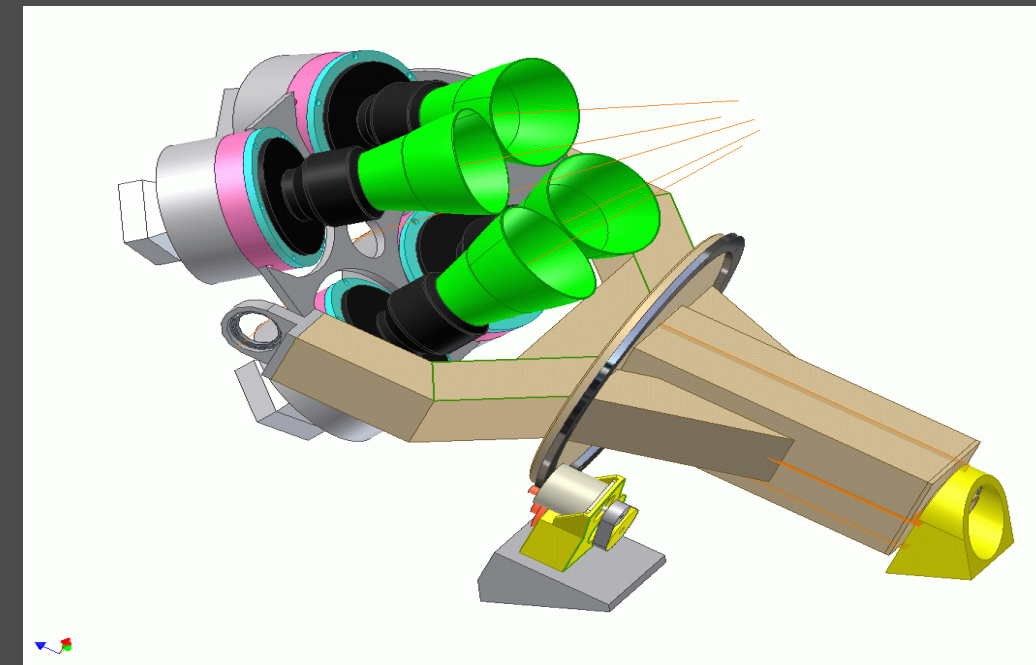
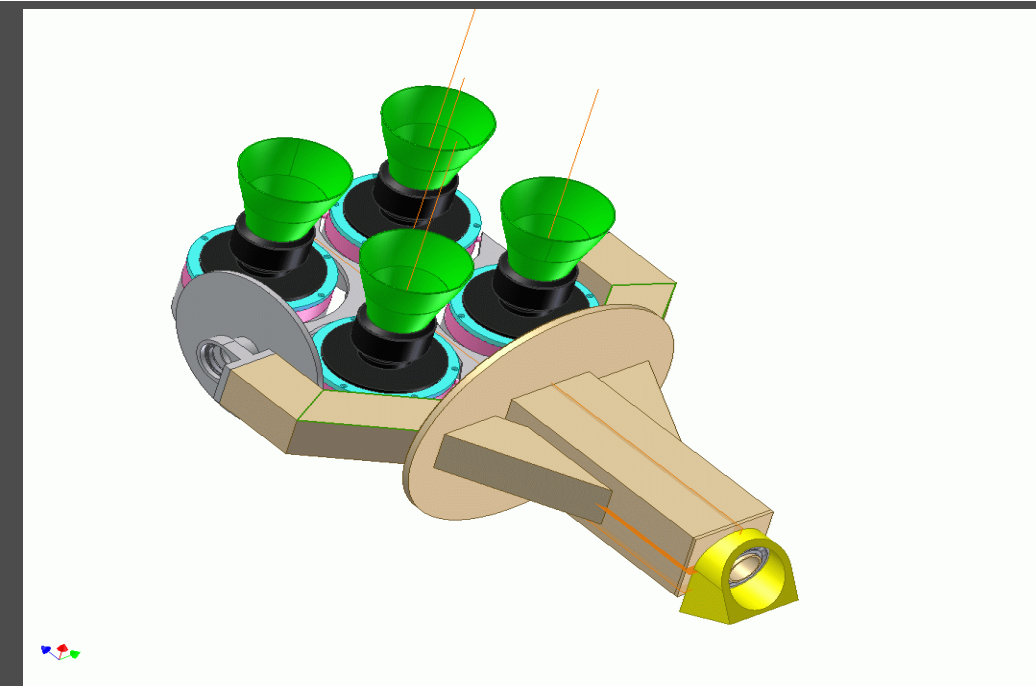
Projekt “ π of the Sky”

Rozwiązania zaczerpnięte z eksperymentów fizyki cząstek

- Stałe monitorowanie ~całego nieba
- Duży strumień danych
- Analiza w czasie rzeczywistym (on-line)
- Wielostopniowy system selekcji (tryger)

Realizacja

- Faza 1 - dwie kamery na ruchomym montażu ($33 \times 33^\circ$)
 - Kamery CCD, każda 2032×2032 pikseli
 - obiektywy fotograficzne $f=50\text{mm}$, $f/2$
 - rozmiar piksla $\sim 15\mu\text{m}$, pokrycie kątowe $1'$
- Faza 2 - dwa moduły po 16 nieruchomych kamer $>\pi$ sterad



FULL VERSION OF THE DETECTOR

- 2 x 16 cameras on paralactic mounts, covering big fraction (~ 2 srad) of sky
- 2 in distance of ~ 50 km
- camera :
 - lenses :
 $f = 85$ mm , $f/d = 1.2$
 - Field Of View (FOV)
 $20^\circ \times 20^\circ$
 - CCD chip of pixel size $18\mu\text{m}$
 - limiting magnitude 12.5 m (10s exposure) and $14-15$ m for 20 averaged frames
- localization – Canary Islands : Teneryfa/ La Palma

Las Campanas Observatory (Chile)



Egzamin

Egzamin pisemny **16 czerwca, 12⁰⁰ – 14⁰⁰, SDD**

Egzamin będzie miał formę **testu**:

50 pytań z materiału przedstawionego na wykładach,
w miarę możliwości równomiernie rozłożonych tematycznie (**~4 pytania na wykład**)
czas pisania: **90 minut**

Do każdego pytania 4 odpowiedzi, z czego **dokładnie jedna** prawidłowa.

Punktacja:

- dobra odpowiedź $\Rightarrow +1$
- zła odpowiedź $\Rightarrow -0.5$ (losowe skreślanie nie opłaca się)

W oparciu o wyniki testu **zaproponowana** będzie **ocena**

Egzamin ustny **19 i/lub 20 czerwca (?)**

- w sytuacjach wątpliwych (“granicznych”)
- w celu poprawienia zaproponowanej oceny (gdzie jest to możliwe)

Egzamin

Przykładowe pytania testowe (z roku 2004):

1. Energia dostępna w zderzeniach przeciwbieżnych wiązek elektronów o energiach 1 GeV i 9 GeV wynosi
 A 8 GeV B 6 GeV C 10 GeV D 5 GeV
2. Typowe pole przyspieszające w obecnych akceleratorach cząstek to:
 A 100 kV/m B 10 MV/m C 1 GV/m D 10 MV/cm
3. Hipotezę istnienia kwarków zaproponował
 A Feynman B Fermiego C Bjorken D Gell-Mann i Zweig
4. Największy wkład do funkcji struktury F_2 protonu, mierzonej w rozpraszaniu NC DIS ep , wnoszą
 A gluony B kwarki d C kwarki s D kwarki u
5. Stosunek liczby produkowanych w atmosferze neutronów elektronicznych do mionowych $\frac{N_{\nu_e}}{N_{\nu_\mu}}$ wynosi około
 A 1/2 B 2 C 3 D 1