

Co i gdzie się mierzy

- Najważniejsze ośrodki fizyki cząstek na świecie z podaniem ich najciekawszych wyników i kierunków przyszłych badań
- Charakterystyka współczesnych badań w fizyce cząstek
- Kierunki przyszłych badań
- Zestawienie najważniejszych wyników eksperymentalnych z ostatnich dziesięciu lat

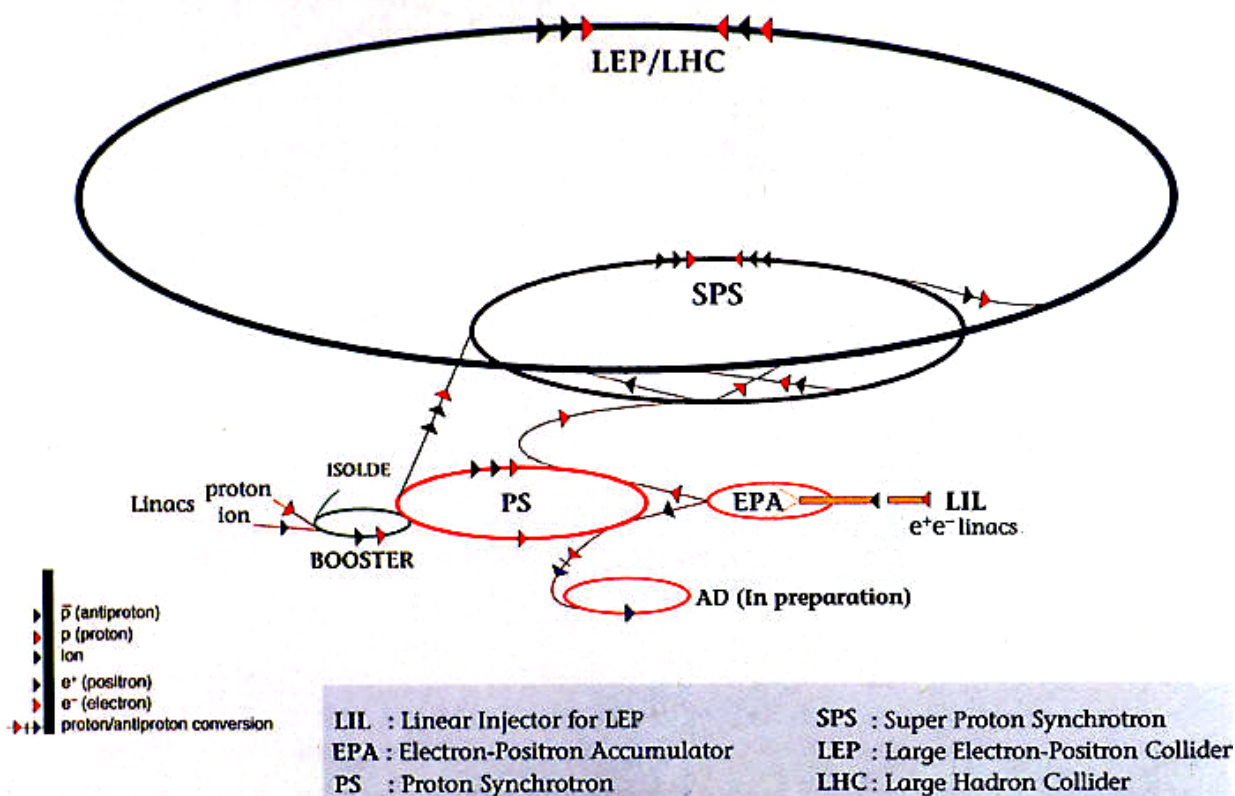
Najważniejsze ośrodki fizyki cząstek na świecie

Europa - CERN:

- Odkrycie prądów neutralnych (lata 70-te)
- Zderzacz antyproton-proton (lata 80-te):
 - produkcja bozonów W^{+-} i Z^0 (Nagroda Nobla)
- Akcelerator SPS - przyspiesza protony do 450 GeV, jony Pb do 158 GeV/nukleon, służy do badań oddziaływań wiązka-tarcza:
 - ciężkie jony (i protony) do poszukiwań plazmy kwarkowo-gluonowej
 - miony do badania struktury nukleonu
 - neutrina mionowe do badania oscylacji neutrin
 - wiązki K^0 do badania łamania symetrii CP
- Zderzacz LEP - 1989-2000 - wiązki e^+ i e^- o maksymalnym pędzie 104.5 GeV/c
 - badanie bozonów pośredniczących Z^0 i W^{+-}
 - badanie cząstek z ciężkimi kwarkami b i c
 - poszukiwanie nowych cząstek, np skalara Higgsa, cząstek supersymetrycznych
- Zderzacz LHC - wiązki p (7 TeV) i Pb (2.76 TeV/nukleon), planowany start w 2007 roku
 - poszukiwanie Higgsa i nowych cząstek spoza Modelu Standardowego, badanie plazmy kwarkowo-gluonowej

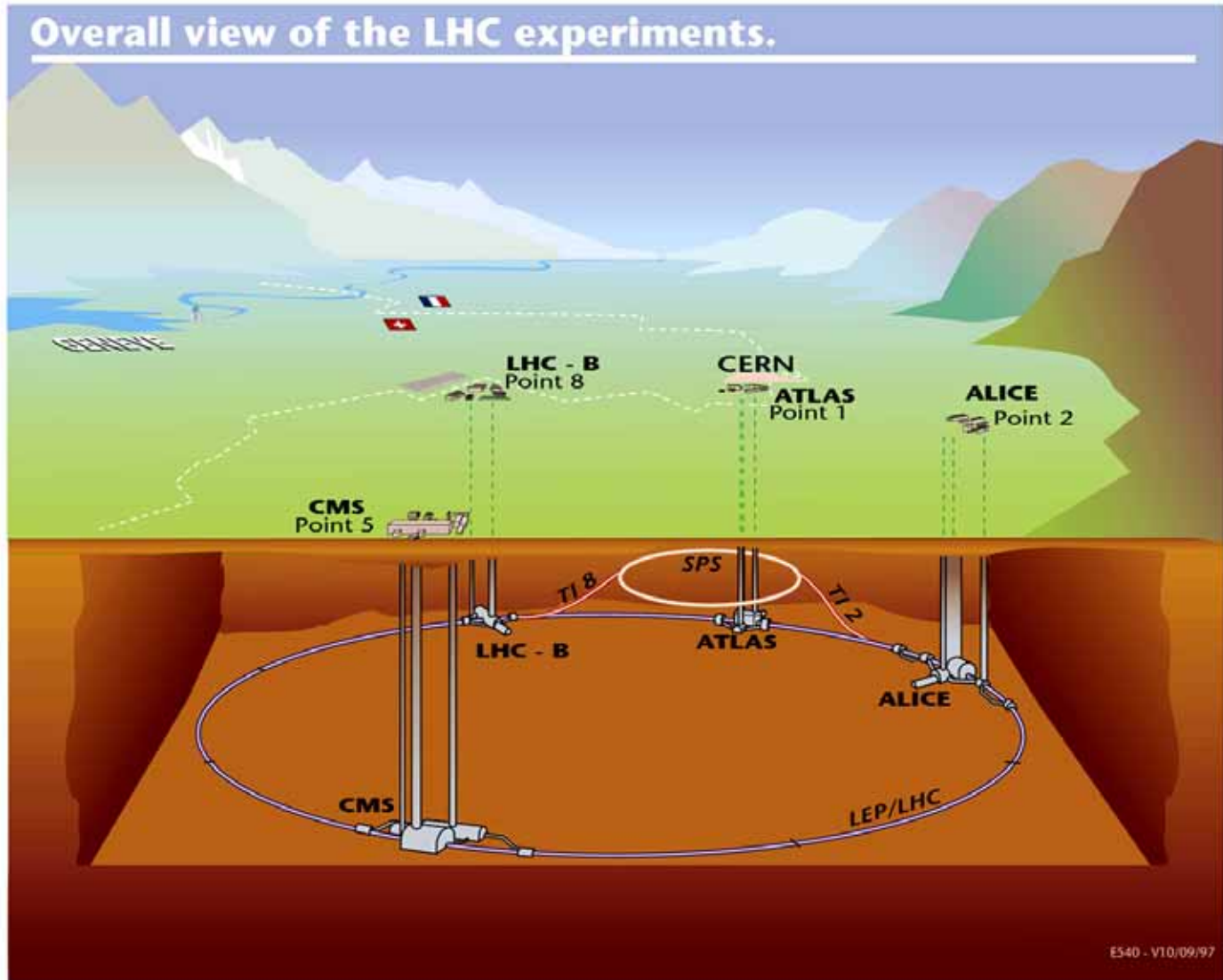
Akceleratory w CERN-ie

CERN's Chain of Accelerators



Ciekawostka – akcelerator PS (najstarszy działający synchrotron) dostarcza też wiązki do badań w zakresie fizyki jądrowej (programy ISOLDE i REX-ISOLDE) i fizyki atomowej (poprzez spowalniacz antyprotonów AD)

LHC



LHC



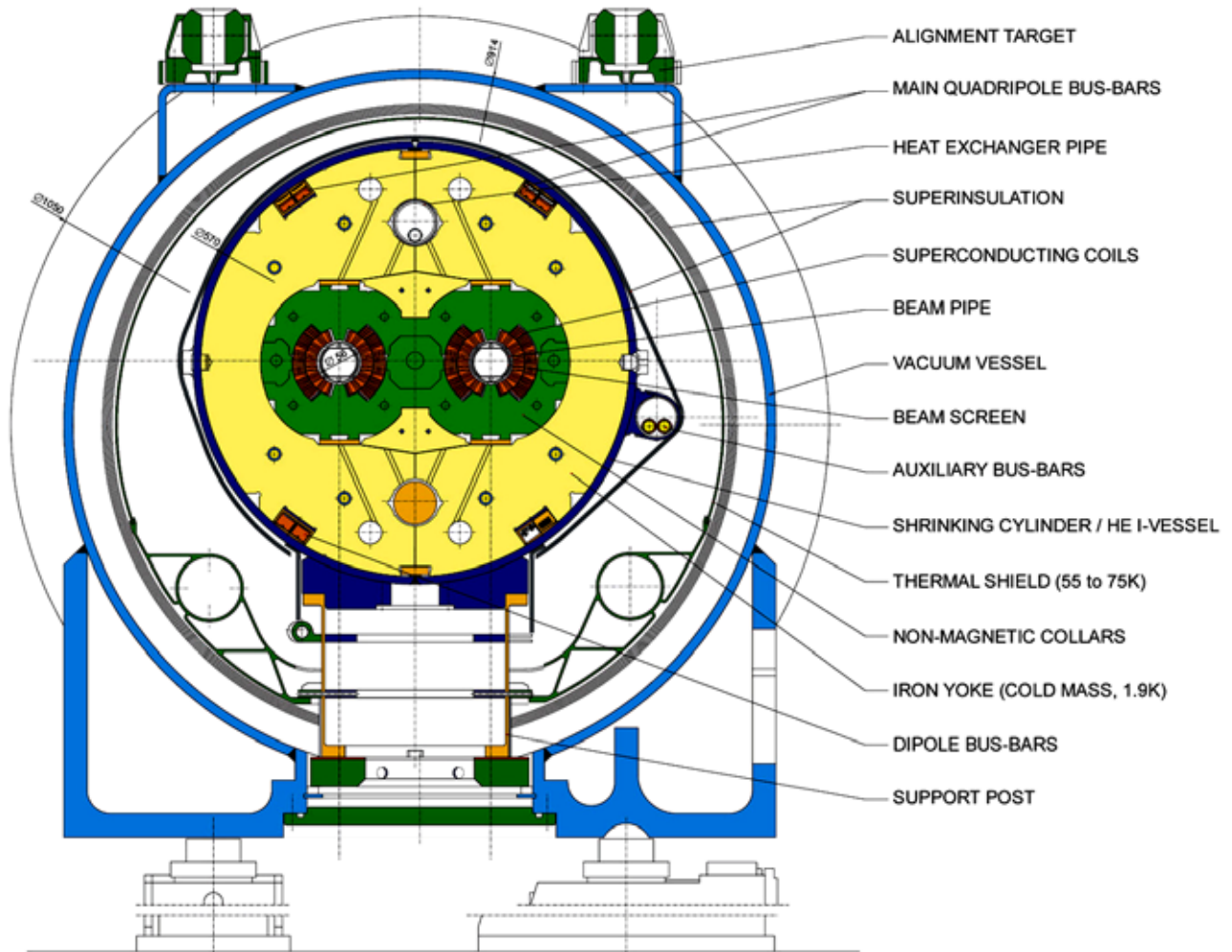
LHC



LHC

LHC DIPOLE : STANDARD CROSS-SECTION

CERN AC/DI/MM - HE 107 - 30 04 1999



Najważniejsze ośrodki fizyki cząstek na świecie - c.d.

Europa - DESY

- Zderzacz DORIS (lata 70-te):
— *badanie cząstek Upsilon (b -anty b)*
- Zderzacz PETRA (lata 80-te):
— *badania mezonów zawierających kwark b*
— *odkrycie gluonów*
- Zderzacz HERA - unikalny zderzacz $e p$ (energia wiązki e^+ (e^-) - 30 GeV, energia wiązki protonów - 820 GeV):
-- *testowanie chromodynamiki kwantowej*
-- *w szczególności badanie struktury protonu*
-- *poszukiwanie nowych cząstek*

Zamknięty w 2007 roku

- W przyszłości liniowy zderzacz e^+e^- TESLA?
- projektowany zakres energii od progu na produkcję pary kwarków t -anty t (ok. 350 GeV) do 800 GeV w układzie środka masy

DESY to jedna z kilku proponowanych lokalizacji

Najważniejsze ośrodki fizyki cząstek na świecie - c.d.

USA - FermiLab

Zderzacz p-antyp - 2×1 TeV:

- odkrycie kwarku t ,
- badania cząstek z kwarkiem b ,
- poszukiwania nowych cząstek, m.in. bozonu Higgsa

Program badań z wiązkami wtórnymi:

- odkrycie cząstek Upsilon (b -anty b) - lata 70-te
- badania oddziaływań fotonów, rozpadów K^0 oddziaływań neutrin, np. pierwsza obserwacja oddziaływań neutrina taonowego (ogłoszona w 2000 roku)
- eksperyment neutrinowy z długą bazą (MINOS) z wiązką neutrin mionowych do kopalni SOUDAN w odległości 730 km od Fermilabu

Program badań astrofizycznych

- eksperyment Auger

Przyszłość:

- liniowy zderzacz e^+e^- ? – jedna z proponowanych lokalizacji, akcelerator przeciwbieżnych wiązek mionów?

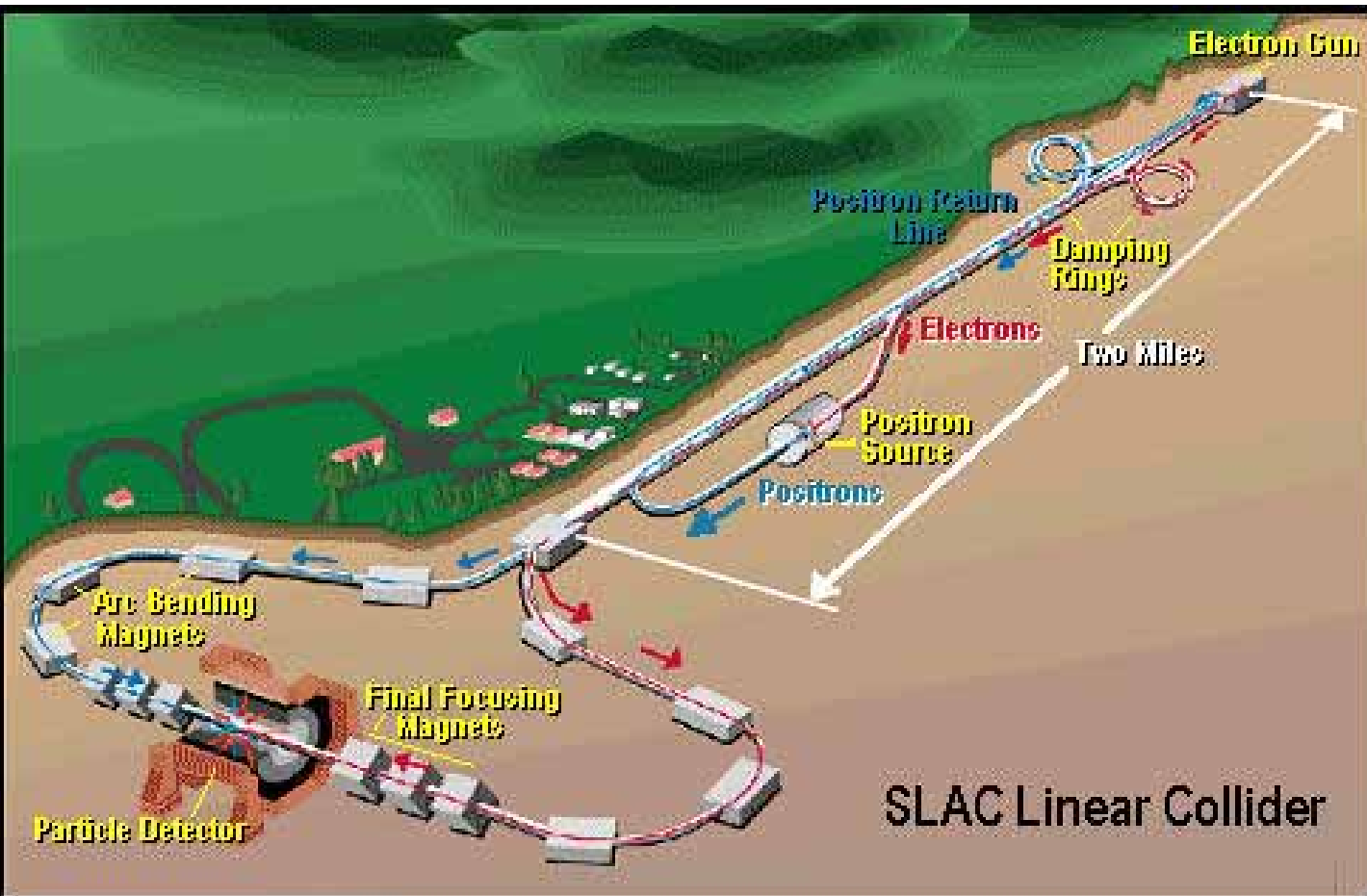
Najważniejsze ośrodki fizyki cząstek na świecie - c.d.

USA - SLAC

- Zderzacz SPEAR (lata 70-te):
— *odkrycie cząstki J/ψ (Nagroda Nobla),*
- Zderzacz PEP (lata 80-te):
— *badania mezonów zawierających kwark b*
- Liniowy zderzacz e^+e^- (lata 90-te)
- $2 * 45.1 \text{ GeV}$:
— *badania pośredniczącego bozonu Z^0*
- Fabryka B (start w 1999 roku):
— *badanie niezachowania symetrii CP w rozpadach mezonów B*

Planowane zamknięcie w 2009 roku

SLAC - liniowy zderzacz e^+e^-



Liniowy zderzacz e^+e^- był pierwszym w świecie tego typu akceleratorem osiągającym w układzie środka masy zderzenia energię ponad 90 GeV. Służył on do badania bozonu Z^0 w eksperymencie SLD

Najważniejsze ośrodki fizyki cząstek na świecie - c.d.

USA - Brookhaven

- **Akcelerator AGS (protony i ciężkie jony):**
 - *odkrycie J/psi (lata 70-te),*
 - *badania oddziaływań ciężkich jonów,*
 - *badania oddziaływań neutrin*
- **RHIC (2000) - pierwszy zderzacz ciężkich jonów:**
 - od p po jony Au -- $2 \cdot 100$ GeV/nukleon
 - *głównie poszukiwania/badania plazmy kwarkowo-gluonowej*

Brookhaven -zespół akceleratorów



Zespół akceleratorów w Brookhaven obejmuje zderzacz RHIC -- pierwszy w świecie zderzacz ciężkich jonów, uruchomiony w 2000 roku

Najważniejsze ośrodki fizyki cząstek na świecie - c.d.

Japonia — KEK

- **Akcelerator protonowy:**
— *wiązka neutrin z KEK do detektora SuperKamiokande*
- **Fabryka B (start w 1999 roku):**
— *badania niezachowania symetrii CP w rozpadach mezonów zawierających kwark b*

Japonia – J-PARC

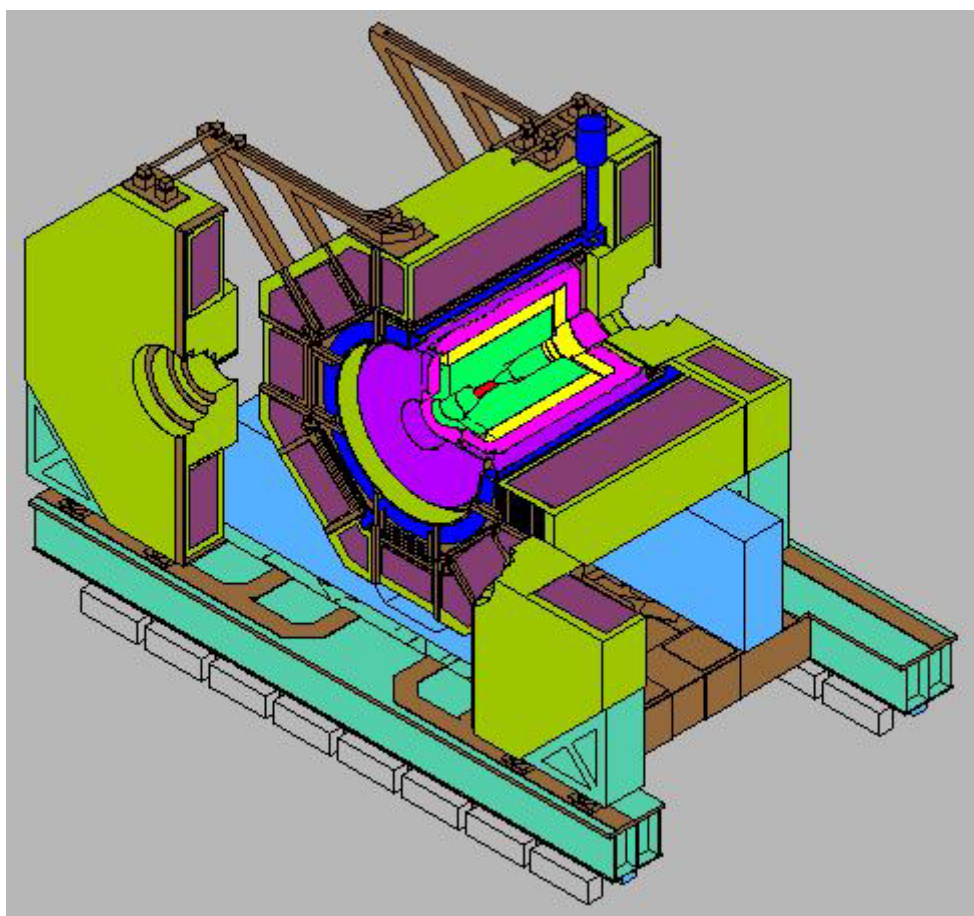
- **Nowy ośrodek akceleratorowy z synchrotronem protonowym 0.75 MW**
— *fizyka neutrin, badania jądrowe*

Japonia — Kamiokande

- **Badania oscylacji neutrin słonecznych, atmosferycznych i akceleratorowych w detektorze Superkamiodkande**

Japonia

Schemat detektora eksperymentu Belle przy fabryce B w KEK-u



Akceleratorzy - porównanie

1. **Zderzacze pp** – klasyczne synchrotrony, promieniowanie synchrotronowe nie stanowi problemu, najłatwiej uzyskać wysoką energię wiązek (ograniczenie stanowi maksymalne natężenie pola magnetycznego w magnesach zakrzywiających) **ale** zderzenie dwu cząstek złożonych

2. **Cykliczne zderzacze e^+e^-** – zderzenie dwu cząstek elementarnych **ale** promieniowanie synchrotronowe wyklucza budowę większego zderzacza e^+e^- niż był LEP

→ **Liniowy zderzacz e^+e^-** – gradient pola elektrycznego na metr decyduje o długości akceleratora **ale** zderzenie wiązek zachodzi tylko raz

2. **Cykliczny zderzacz $\mu^+\mu^-$** – łączy zalety rozwiązania 1 i 2, **ale** przyspieszanie cząstek nietrwałych, to współczesne wyzwanie technologiczne

Charakterystyka obecnych badań w fizyce cząstek

Tematyka

Badania koncentrują się na sprawdzaniu przewidywań Modelu Standardowego i poszukiwaniu odstępstw od niego

— np. poszukiwanie bozonu Higgsa, poszukiwanie nowych cząstek wynikających z wyższych symetrii (cząstki supersymetryczne, leptokwarki ,...)

Akselatory

Zderzacze pp i p-antyp służą zwiększeniu zakresu dostępnych energii, przez co prowadzą do odkryć nowych, ciężkich cząstek, po czym buduje się zderzacze e^+e^- celem dokładnego zbadania tych nowych cząstek

-- przykładem może być historia badań bozonów pośredniczących W i Z

Kierunki przyszłych badań akceleratorowych

Oddziaływania pp:

- Kontynuacja badań kwarku t i poszukiwanie nowych cząstek (skalar Higgsa, cząstki spoza Modelu Standardowego) przy podniesionej świetlności Tevatronu (Fermilab)
- Poszukiwanie nowych cząstek przy najwyższych dostępnych energiach (LHC)

Oddziaływania e^+e^- :

- Badanie niezachowania symetrii CP w rozpadach mezonów B (KEK, SLAC) i K (CERN, FermiLAB, DAFNE-Frascati)
- Badania oddziaływań e^+e^- począwszy od energii progowej na produkcję pary kwark t - antykwark t (350 GeV) do ok. 1 TeV-y (przyszły zderzacz liniowy -- DESY? USA? Japonia?)

Kierunki przyszłych badań akceleratorowych -- c.d.

Oddziaływania ciężkich jonów:

- Badania (czy wciąż poszukiwania?) plazmy kwarkowo-gluonowej przy wyższych energiach (RHIC-Brookhaven, LHC-CERN), kontynuacja programu SPS w CERNie(?))

Oddziaływania neutrin:

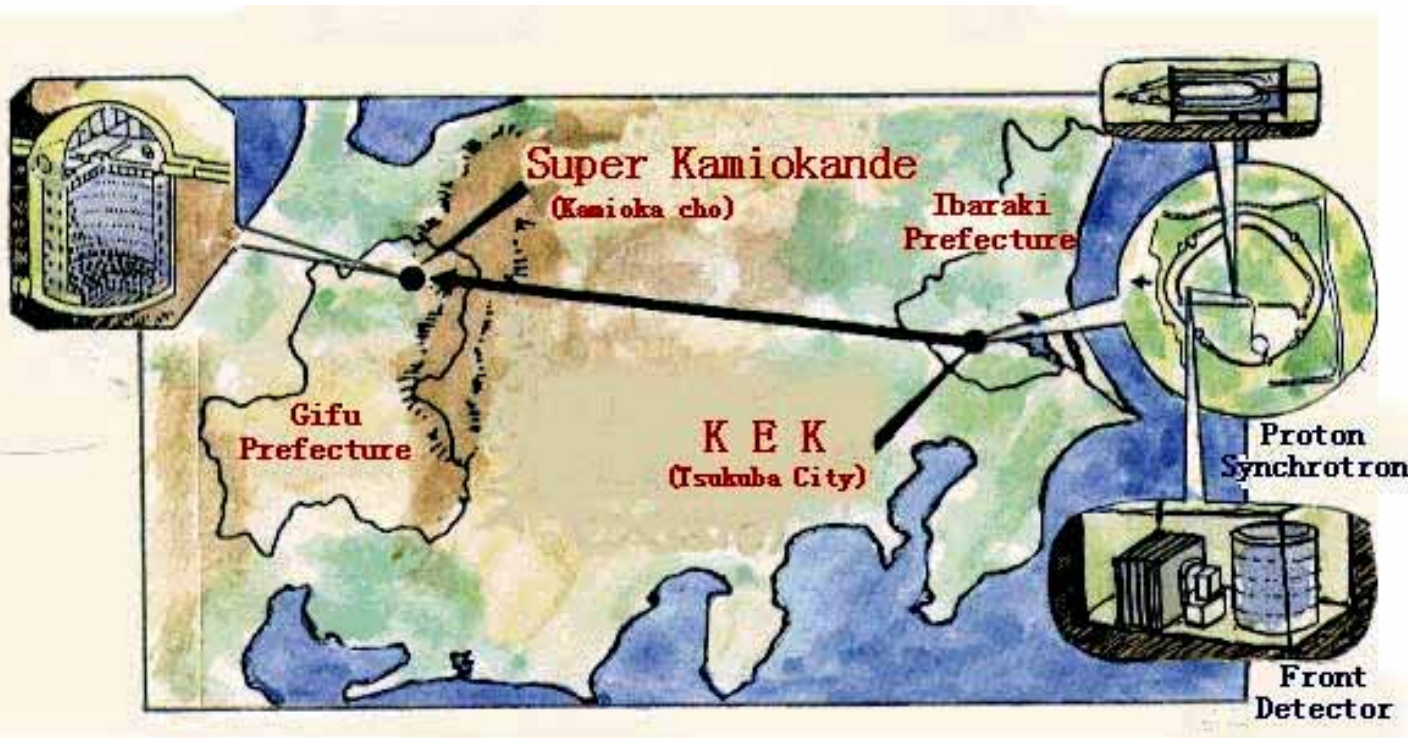
- Eksperymenty z długą bazą pomiarową (Fermilab - Soudan, CERN - Gran Sasso, J-PARC-SuperKamiokande)

Nowe koncepcje akceleratorowe:

- Fabryki neutrin ?
- Wiązki β
- Zderzacze mionów ?
- zderzacz hadronów następnej generacji? (poprawiony LHC? VLHC?)

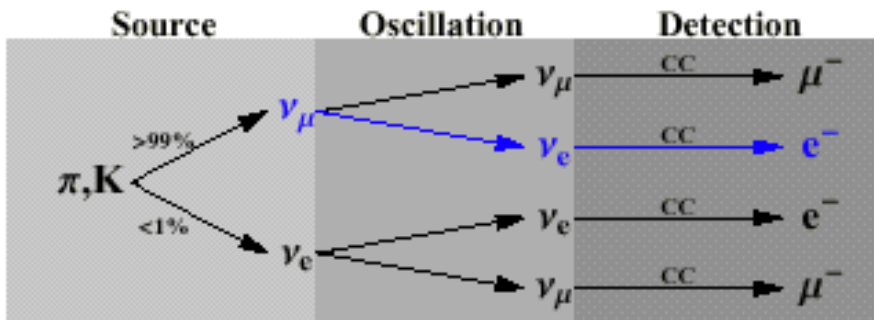
Japonia

**Neutrinowy eksperyment z długą bazą
-- wiązka z KEK-u wysyłana do detektora
w Kamiokande**



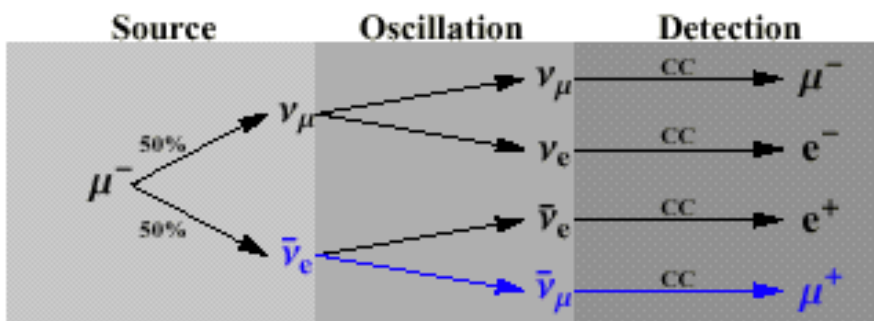
Przyszłe intensywne źródła neutrin

Superbeams



Superwiązki
konwencjonalne
wiązki
dużej
intensywności,
Neutrina z
rozpadów π

Neutrino Factories



**Fabryki
neutrin**
- nowy typ
akceleratora,
neutrina z
rozpadów μ

Wiązki β

Nowy pomysł (2002 rok)
- przyspieszać ${}^6\text{He}$ (źródło
antyneutrin) i ${}^{18}\text{Ne}$
(źródło neutrin)

Najważniejsze wyniki ostatnich 15 lat

(Według mojego wyboru)

- 1. Wyznaczenie liczby rodzin kwarkowo-leptonowych i precyzyjne testy Modelu Standardowego w zderzaczu LEP**
- 2. Odkrycie kwarku t w laboratorium E.Fermiego w Stanach Zjednoczonych**
- 3. Badania niezachowania symetrii CP w rozpadach mezonów K^0 i mezonów B**
- 4. Poszukiwania przejawów plazmy kwarkowo-gluonowej w zderzeniach ciężkich jonów w CERN-ie, a potem w zderzaczu RHIC**
- 5. Odkrycie oscylacji neutrin atmosferycznych w eksperymencie SuperKamiokande, słonecznych w eksperymencie SNO, akceleratorowych w K2K i reaktorowych w KamLaND**