

# Pierwsza obserwacja neutrina taonowego

Agnieszka Zalewska

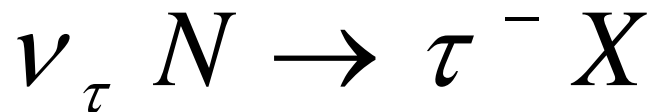
konwersatorium PTF, 18.01.2001

W lipcu 2000 roku na specjalnym seminarium w Fermilabie ogłoszono odkrycie neutrino taonowego w eksperymencie DONUT. W komorach emulsyjnych detektora DONUT po raz pierwszy zaobserwowano cztery przypadki oddziaływań tego neutrino. W ten sposób znikła ostatnia biała plama w tabeli elementarnych fermionów. Obserwacji  $\nu_\tau$  nie towarzyszyły jednak wielkie emocje, gdyż oczekiwano jej od co najmniej 1989 roku, kiedy w eksperymentach przy akceleratorze LEP w CERNie stwierdzono istnienie trzech rodzajów lekkich neutrin. W niedalekiej przyszłości poszukiwać się będzie oddziaływań  $\nu_\tau$  pochodzących z oscylacji akceleratorowych neutrin mionowych wysyłanych z CERNu do laboratorium w Gran Sasso.

# Eksperyment DONUT

CEL:

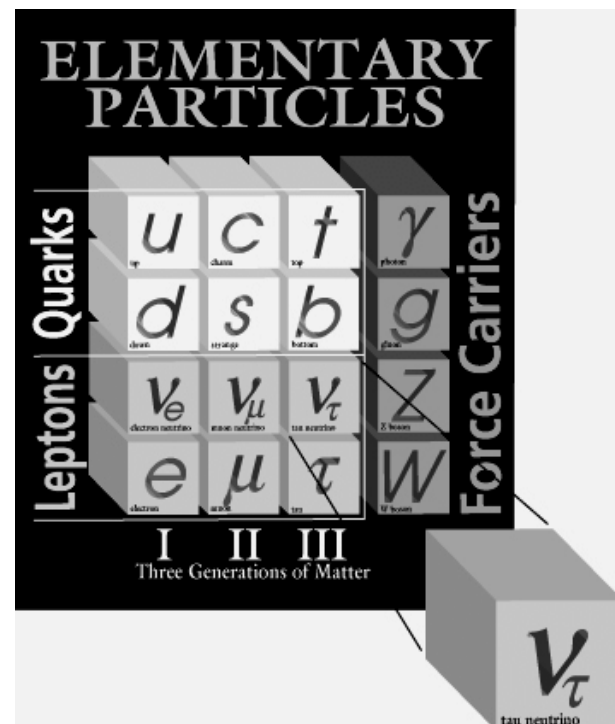
bezpośrednia obserwacja oddziaływań typu CC („charged current”) neutrina taonowego



POPRZEZ:

lokalizację i identyfikację rozpadów leptonu  $\tau$  w detektorze wyposażonym w tarczę z emulsji jądrowej i spektrometr elektroniczny

A.Zalewska, konwersatorium PTF,  
18.01.2001



---

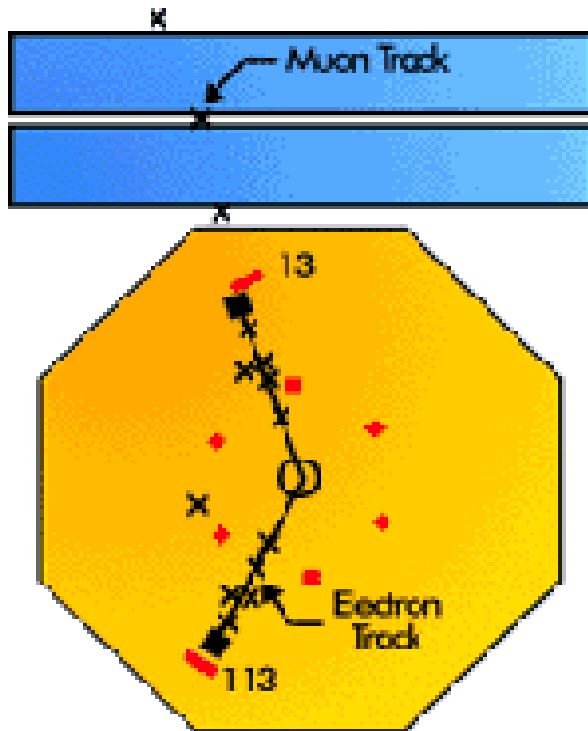
# Trochę historii $\nu_\tau$

---

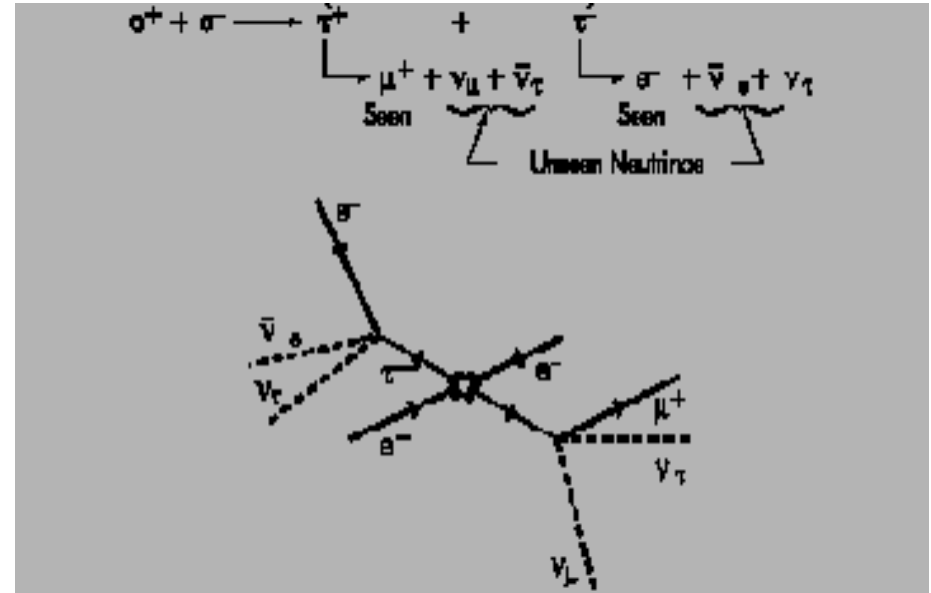
- Ů 1975 — odkrycie leptonu  $\tau$  na akceleratorze SPEAR; bardzo naturalne założenie o istnieniu odpowiadającego mu neutrina  $\nu_\tau$
- Ů 1986 — E531 stwierdza brak sprzężeń  $\nu_e, \nu_\mu$  do leptonu  $\tau$
- Ů lata 80-90 — badania rozpadów leptonu  $\tau$ : CLEO, ARGUS, eksperymenty przy akceleratorze LEP
- Ů 1989 — LEP stwierdza istnienie trzech lekkich neutrin
- Ů 1998 — SuperKamiodande wskazuje na oscylacje  $\nu_\mu \Leftrightarrow \nu_\tau$
- Ů 2000 — DONUT: pierwsza bezpośrednia obserwacja oddziaływań  $\nu_\tau$
- Ů 2005? — początek poszukiwań oddziaływań  $\nu_\tau$  z oscylacji  $\nu_\mu$

# Odkrycie leptonu $\tau$

1975 - M.Pert i in. - poszukiwanie takich przypadków oddziaływań  $e+e^-$ , gdzie w stanie końcowym był tylko mion i elektron o przeciwnych ładunkach



## Interpretacja:



1995 - Nagroda Nobla dla M.Perla za odkrycie  $\tau$  i dla F.Reinesa za pierwszą obserwację oddziaływań  $\nu_e$

# Rozpady leptonu $\tau$

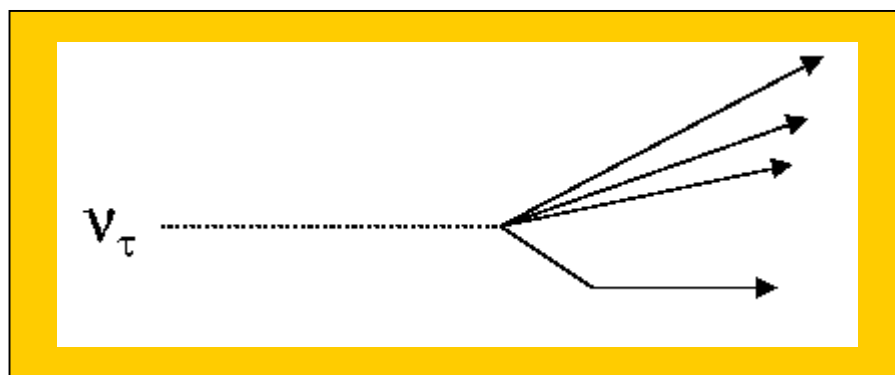
Wyniki eksperymentów ARGUS, CLEO i czterech eksperymentów przy akceleratorze LEP:

$\tau \rightarrow 1 \text{ prong} + \text{neutrals}$  84.7% :

$\tau \rightarrow h + \text{neutrals}$  49.5%

$\tau \rightarrow e \nu \nu$  17.8%

$\tau \rightarrow \mu \nu \nu$  17.4%



---

# Masa i czas życia leptonu $\tau$

---

Masa  $\nu_\tau < 18.2 \text{ MeV}$

- wyznaczona w oparciu o wysokokrotne rozpady  $\tau$  ( $> 5$  cząstek naładowanych) w eksperymentach przy akceleratorze LEP

Czas życia  $\tau_\tau = (290.6 \pm 1.1) \times 10^{-15} \text{ s}$

$c\tau_\tau = 87.11 \text{ mikronów}$

- główny wkład od eksperymentów przy akceleratorze LEP

---

# Istnieją trzy rodzaje lekkich neutrin

---

**1989:** pierwszy rok zbierania danych w czterech eksperymentach przy akceleratorze LEP, wyznaczona zostaje liczba lekkich neutrin (a tym samym liczba rodzin kwarkowo-leptonowych)

Pomiar szerokości  $Z0$  jest konsystentny z trzema rodzajami lekkich neutrin (sprzęgających się do  $Z0$ )

**2000:** w oparciu o wszystkie dane z czterech eksperymentów LEP-owskich (PDG 2000):

$$N_\nu = 2.994 \pm 0.012 \quad (\text{fity SM do danych})$$

$$N_\nu = 3.00 \pm 0.06 \quad (\text{z bezpośredniego pomiaru})$$

---

# Eksperyment DONUT

---

Idea eksperymentu: 1993

Zbieranie danych: od kwietnia do września 1997

Oficjalne ogłoszenie wyników (poprzedzone przez parę mniej oficjalnych): 21 lipca 2000 na specjalnym seminarium w Fermilabie

Praca do publikacji: „Observation of Tau Neutrino Interactions” 14 grudnia 2000

## Abstract:

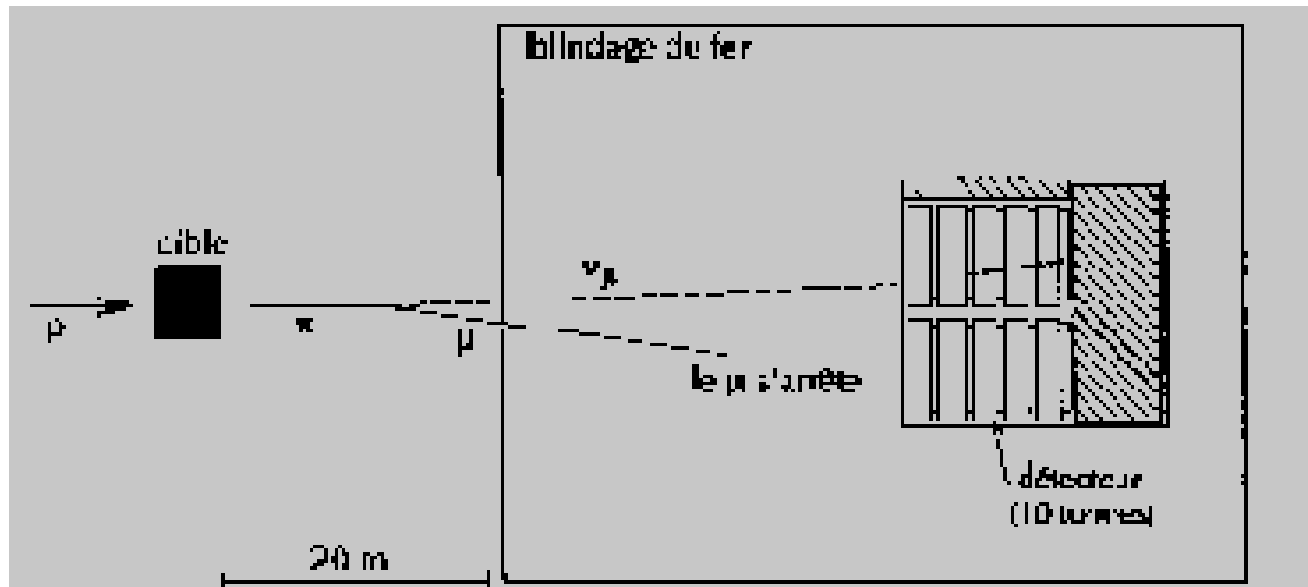
The DONUT experiment has analysed 203 neutrino interactions recorded in nuclear emulsion targets. A decay search has found evidence of four tau interactions with an estimated background of 0.34 events. The number is consistent with the Standard Model expectation.



# Analogia z poszukiwaniem oddziaływań $\nu_\mu$

Rok 1962 - eksperyment przy akceleratorze w Brookhaven:

obserwacja leptonów  $\mu$  powstających w wyniku oddziaływań neutrin mionowych z rozpadów mezonów  $\pi$ , wytwarzanych w oddziaływaniach wiązki protonów z jądrami tarczy

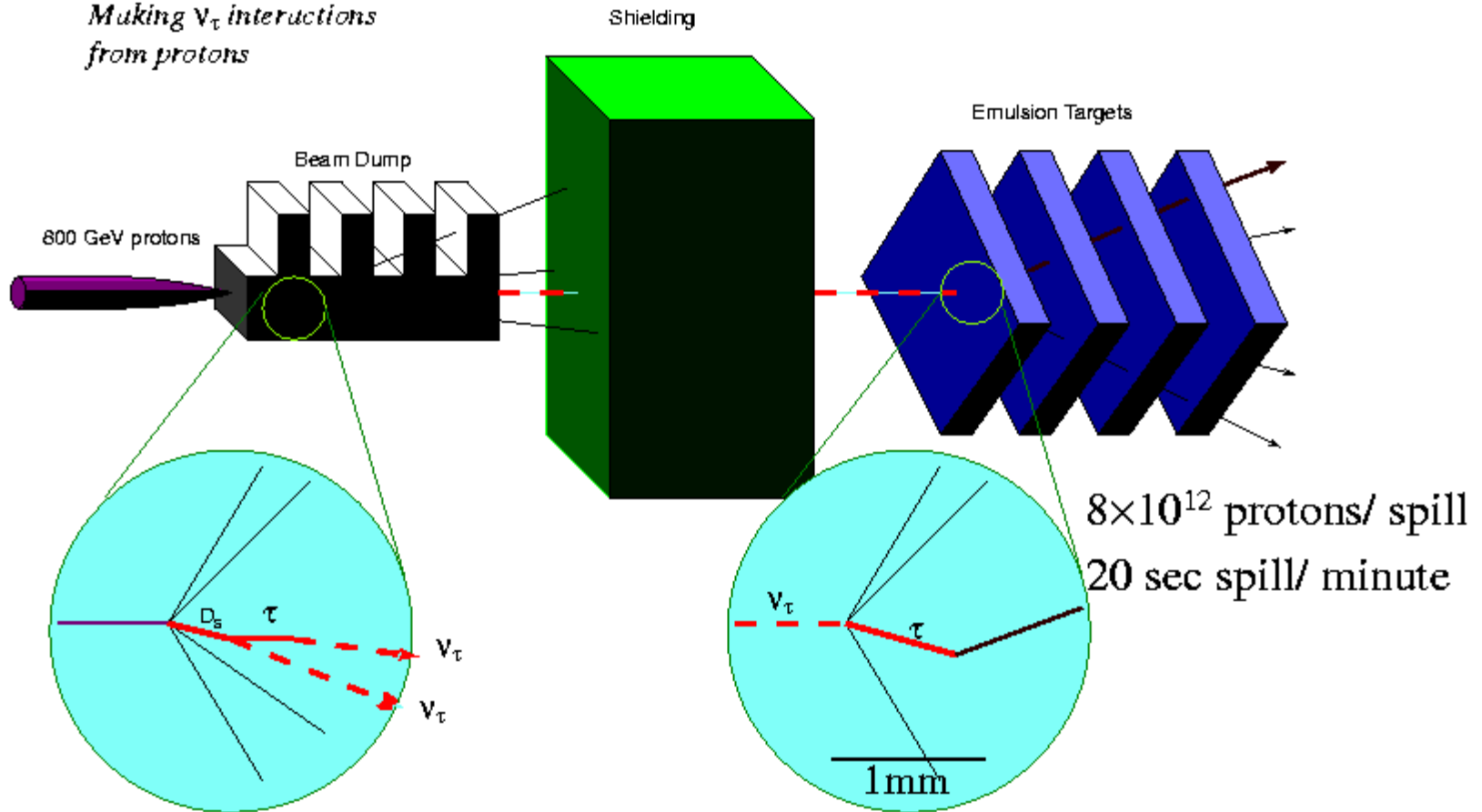


Rok 1987 - Nagroda Nobla dla L.Ledermana, J.Steinbergera i M.Schwartzza za odkrycie oddziaływań  $\nu_\mu$

# Eksperyment DONUT – wiązka neutrin

*E-872*

*Making  $\nu_\tau$  interactions  
from protons*



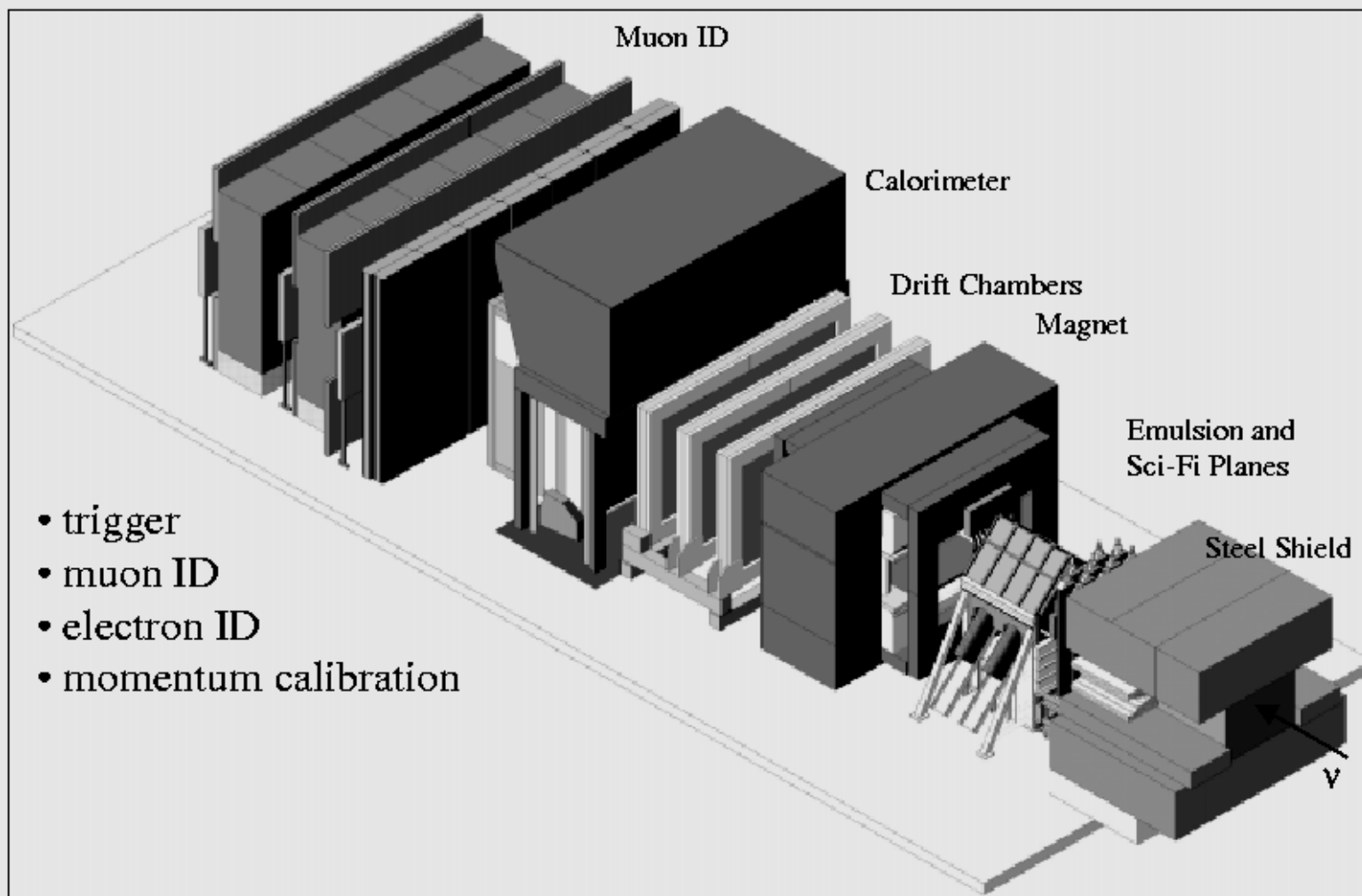
---

# Eksperyment DONUT — wiązka neutrin

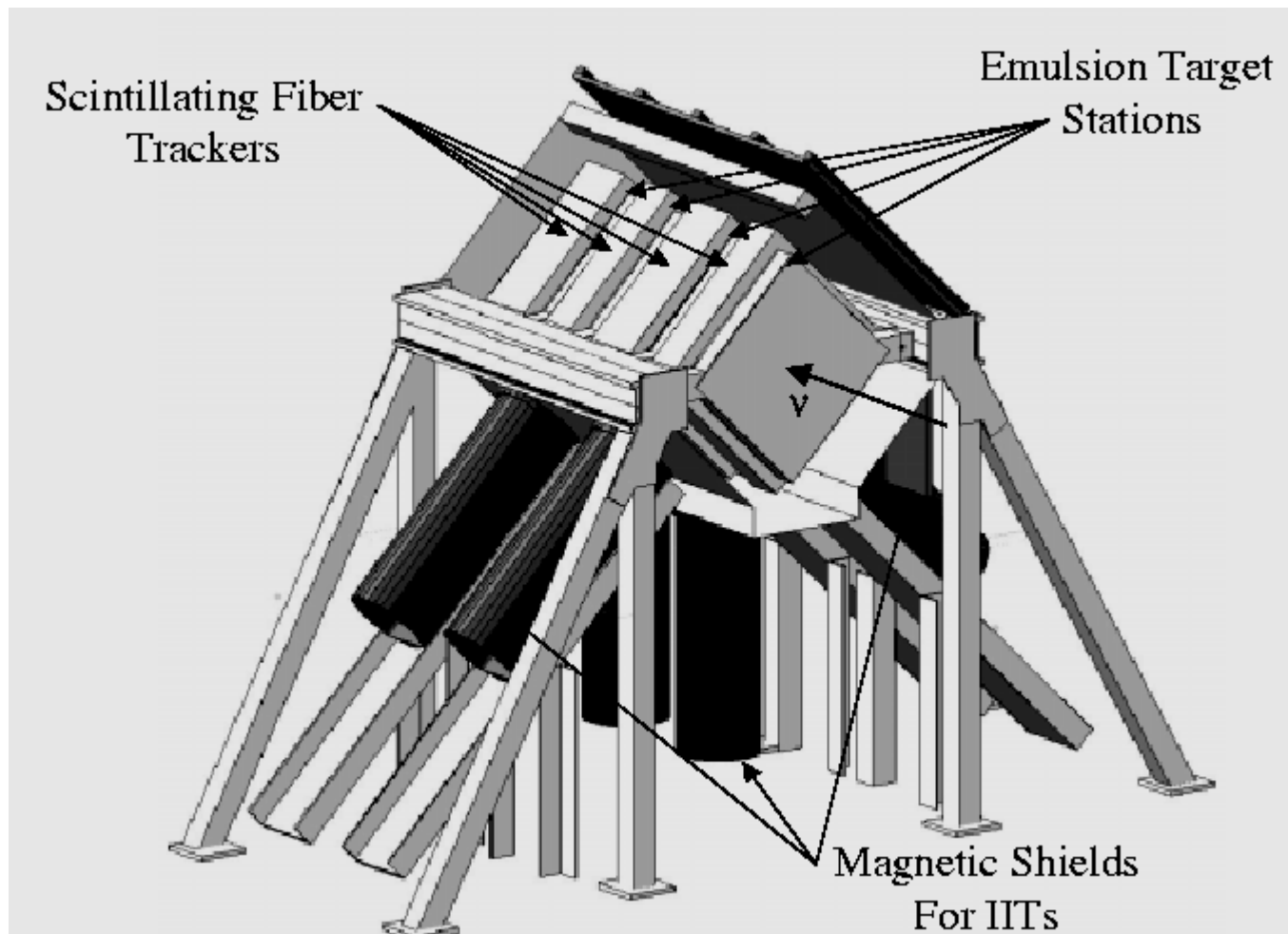
---

- x Całkowita liczba protonów na tarczy (p.o.t.) =  $3.6 \times 10^{17}$
- x Około 5% neutrin wiązki stanowią  $\nu_\tau$ , reszta to  $\nu_e$  i  $\nu_\mu$
- x  $\nu_\tau$  pochodzą głównie (w ok.. 85%) z rozpadu  $D_s \rightarrow \nu_\tau \tau$  i  $\bar{D}_s \rightarrow \bar{\nu}_\tau X$
- x Wyliczona całkowita liczba oddziaływań neutrin = 1100, w tym oczekiwano 47% oddziaływań typu CC neutrin  $\nu_\mu$ , 27% takich oddziaływań neutrin  $\nu_e$  i 5% takich oddziaływań neutrin  $\nu_\tau$  oraz 21% przypadków typu NC

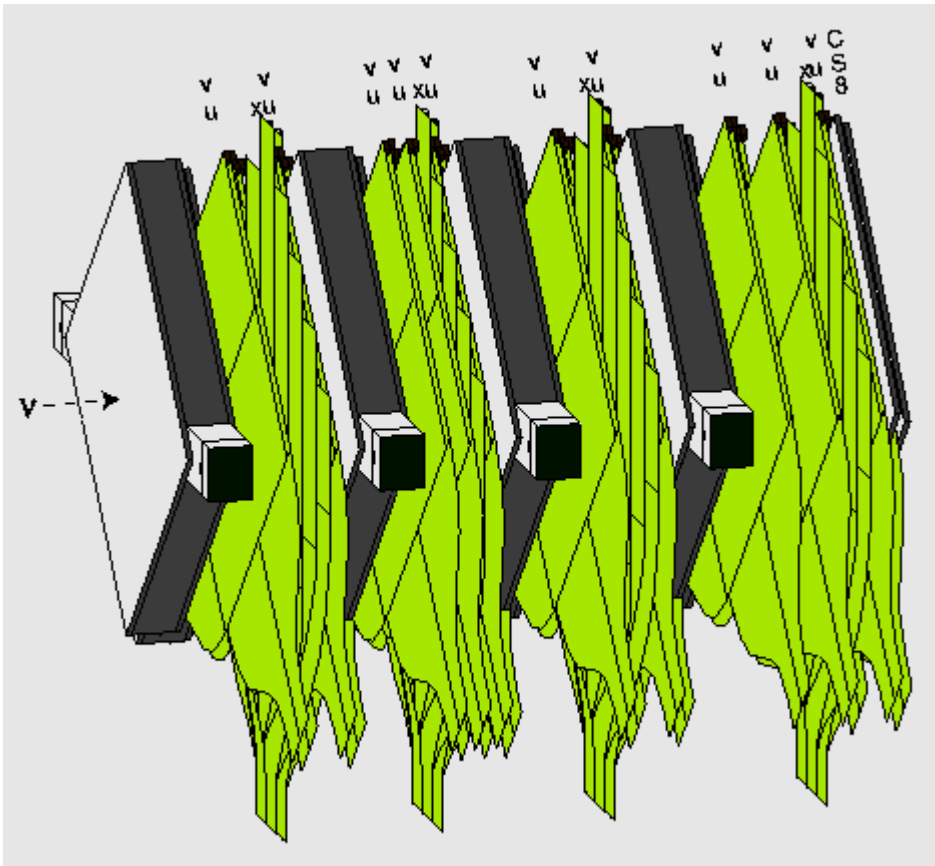
# Eksperyment DONUT – spektrometr



# Eksperyment DONUT – tarcza

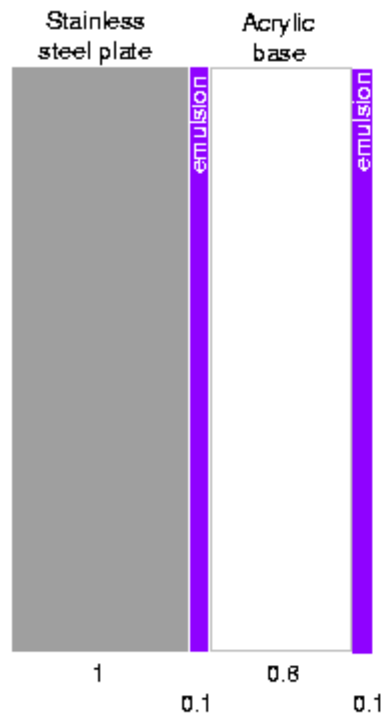


# DONUT— tarcza/detektor wierzchołka

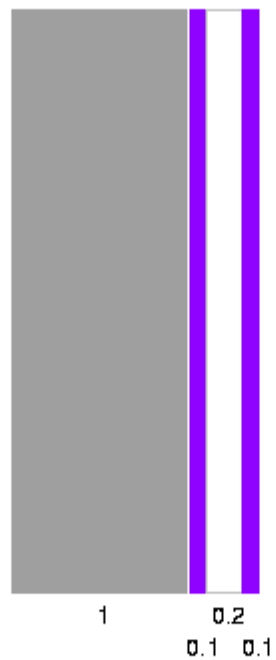


- × tarcza złożona z 4 części
- × moduły emulsji przełożone modułami z włókien scyntylacyjnych do elektronicznego pomiaru torów i przewidywania położenia wierzchołka oddziaływania
- × naświetlono łącznie 7 modułów emulsji, o całkowitej wadze około 550 kg, każdy o długości około  $2-3 X_0$  i  $0.2-0.3 \lambda_{\text{int}}$

# DONUT— trzy rodzaje bloków emulsyjnych



"ECC 800"



"ECC 200"



"Bulk"

- 3 target types
- Bulk 95% emulsion
- ECC 5% emulsion
- ECC for OPERA

---

# DONUT - selekcja oddziaływań neutrin

---

- x  $6.6 \times 10^6$  trygerów (wymaganie więcej niż 1 segmentu toru w trzech hodoskopach w obszarze tarczy i brakiem sygnału w licznikach veto przed tarczą w oknie czasowym 10 ns)
- x 898 wierzchołków przewidzianych przez pomiary w spektrometrze elektronicznym (typowo z dokładnością 1mm poprzecznie do wiązki i 7mm wzdłuż wiązki) -  
wymaganie, aby zrekonstruowany wierzchołek trafił w komory emulsyjne
- x 498 wierzchołków spełniało dodatkowe wymagania nietrafiania w obszary brzegowe emulsji, określonej topologii i dokładności rekonstrukcji (konieczne dla automatycznego scaningu emulsji)



---

# DONUT - selekcja oddziaływań neutrin

---

- x scanning małych obszarów emulsji (typowo 5mmx5mmx15mm) w płytach ze wskazanym wierzchołkiem - wynikiem był zbiór 3-D segmentów torów cząstek naładowanych (typowo  $10^4$  segmentów na płytę)
- x alignment w oparciu o tory przechodzące przez płytę i tworzenie wierzchołków przez łączenie w pary, a następnie większe grupy segmentów torów - znaleziono 262 wierzchołki
- x powtórny scanning wokół tych wierzchołków w obszarze 2.6mmx2.6mmxco najmniej 1cm w dół i dwie płyty w górę od wierzchołka oraz dodatkowy alignment

203 wyselekcjonowane przypadki oddziaływań neutrin

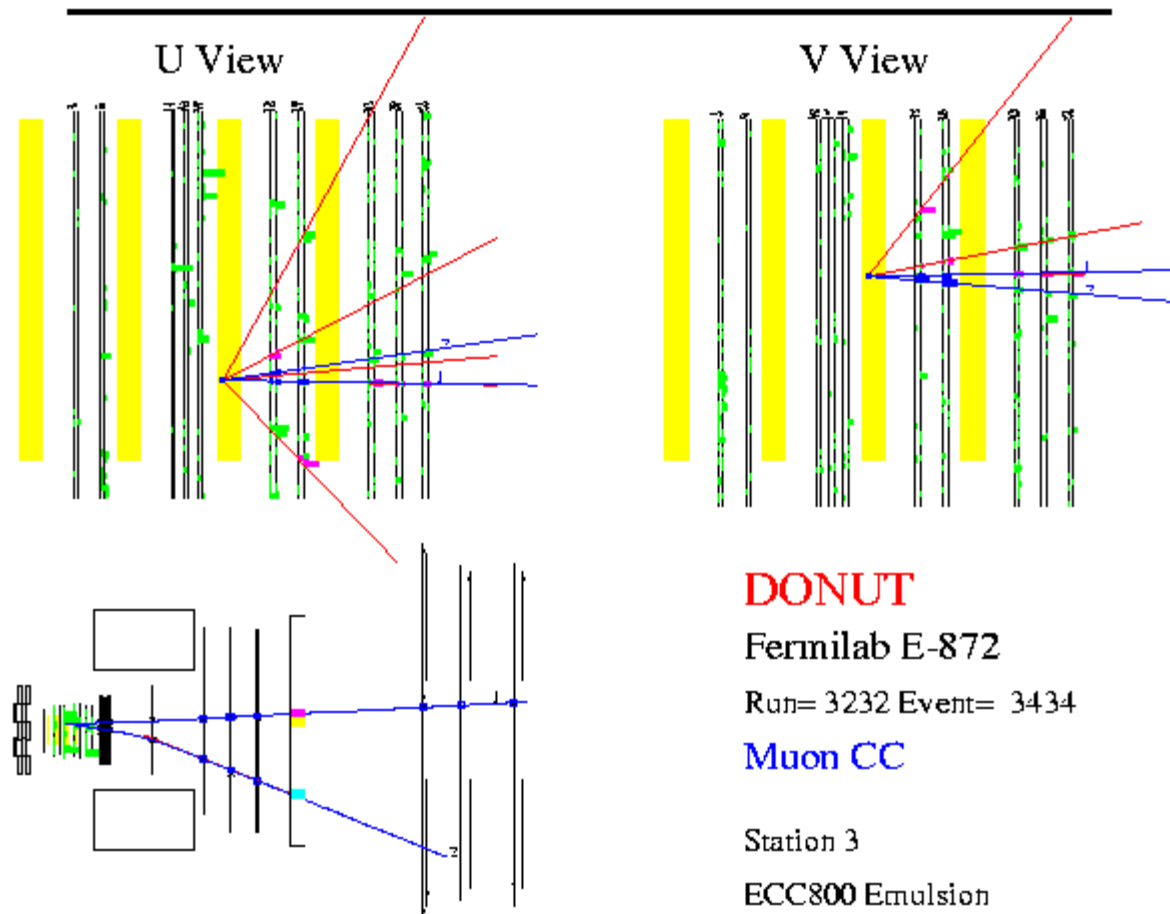
---

# DONUT - klasyfikacja przypadków

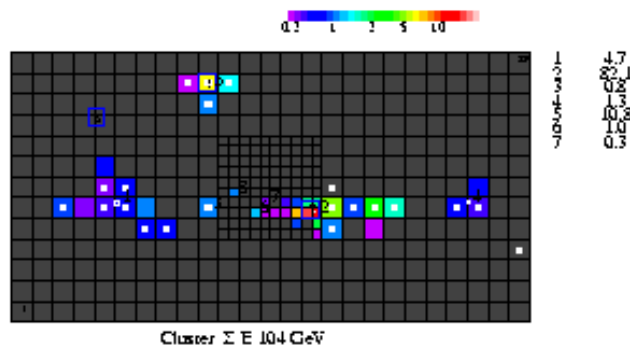
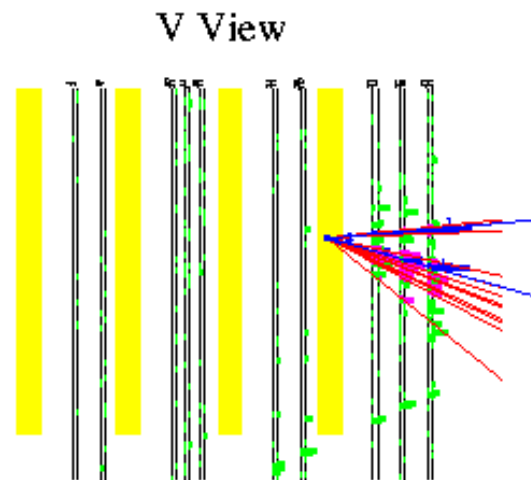
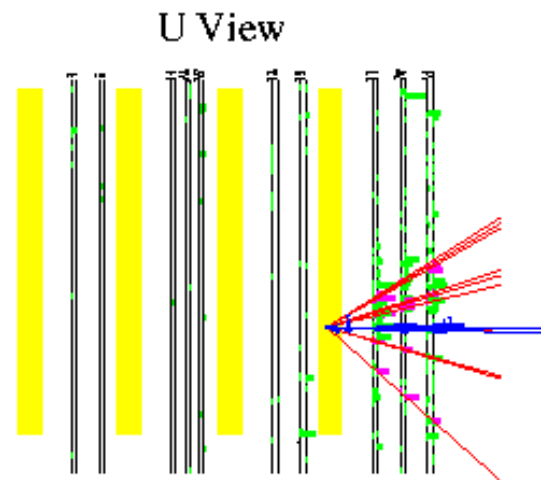
---

- x **203 przypadki oddziaływań:** bardzo dobra kalibracja detektora, pomiar pędu poprzez pomiar wielokrotnego rozpraszania w emulsji (dokładność rzędu 30%), rekonstrukcja wierzchołka oddziaływania z dokładnością  $0.5 \mu\text{m}$  poprzecznie do wiązki i  $15 \mu\text{m}$  wzdłuż wiązki
- x **selekcja oddziaływań  $\nu_\tau$  poprzez poszukiwanie załamania na torach cząstek wyprodukowanych w oddziaływaniu** (opis nastąpi)
- x **wynik klasyfikacji:**  $94 \pm 17$  oddziaływań CC neutrin  $\nu_\mu$ ,  $61 \pm 14 \nu_e$ ,  $4 \pm 0.34 \nu_\tau$ , reszta to oddziaływania NC

# DONUT - przykład oddziaływania $\nu_\mu$ CC



# DONUT - przykład oddziaływania $\nu_e$ CC



DONUT

Fermilab E-872

Run= 3250 Event= 470

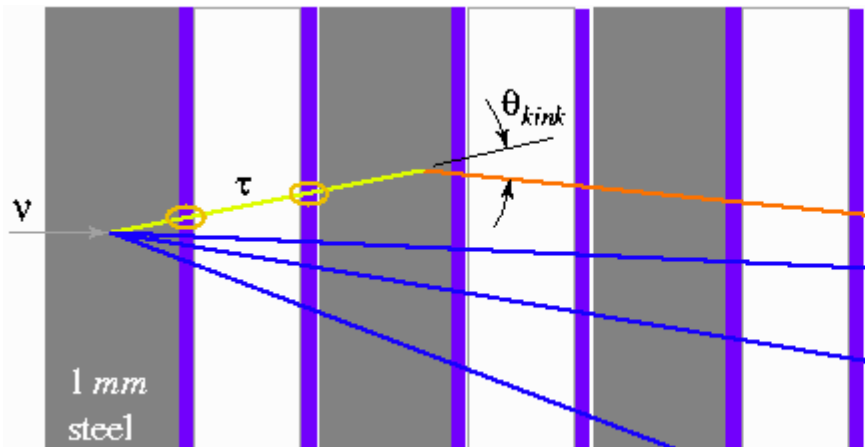
Electron CC

Station 4

Bulk Emulsion

# DONUT - selekcja oddziaływań $\nu_\tau$

× poprzez wybór topologii (załamanie na torze cząstki, kryteria geometryczne dla torów i wierzchołka oddziaływania), cięcie kinematyczne ( $p_\tau$  produktu rozpadu  $> 250 \text{ MeV}/c$ ) i żądanie braku leptonu pochodzącego z wierzchołka oddziaływania



## 1. Long Decays

- parent measured
- kink resolved
- $\tau \Rightarrow$  no 1<sup>st</sup> lepton
- $\sim 75\%$

# DONUT - selekcja oddziaływań

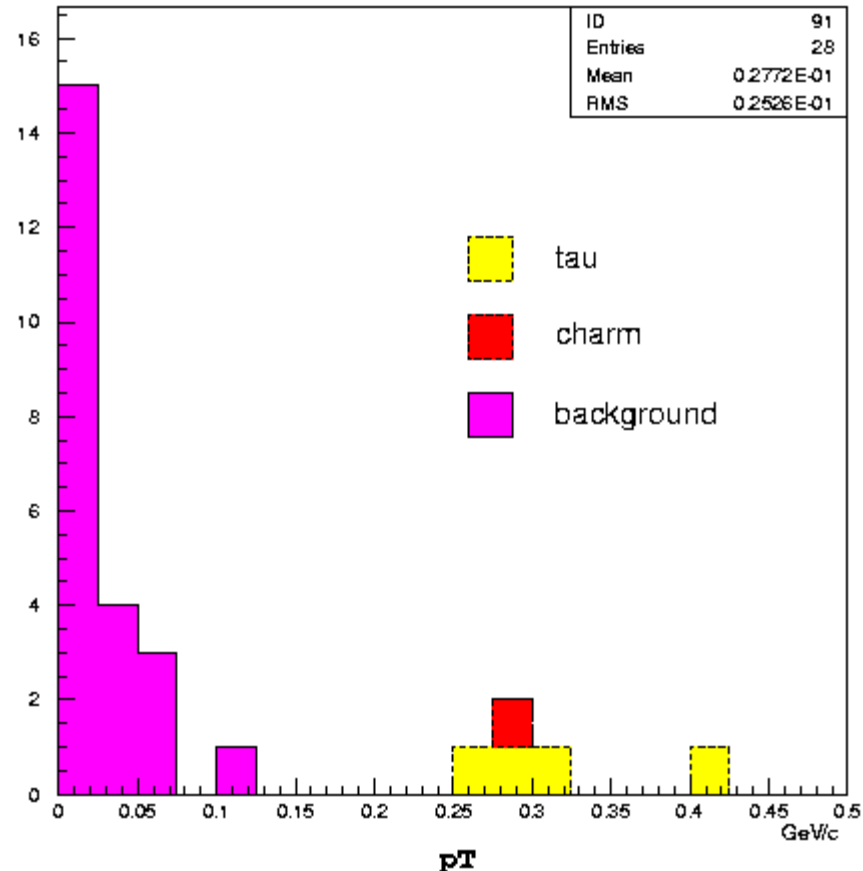
Ponad 60 przypadków z widocznym załamaniem na którymś torze - zidentyfikowane jako wynik wtórnego rozpraszania - eliminowane przez cięcie na  $p_T$

Ocena tła w próbce  $v_T$ :

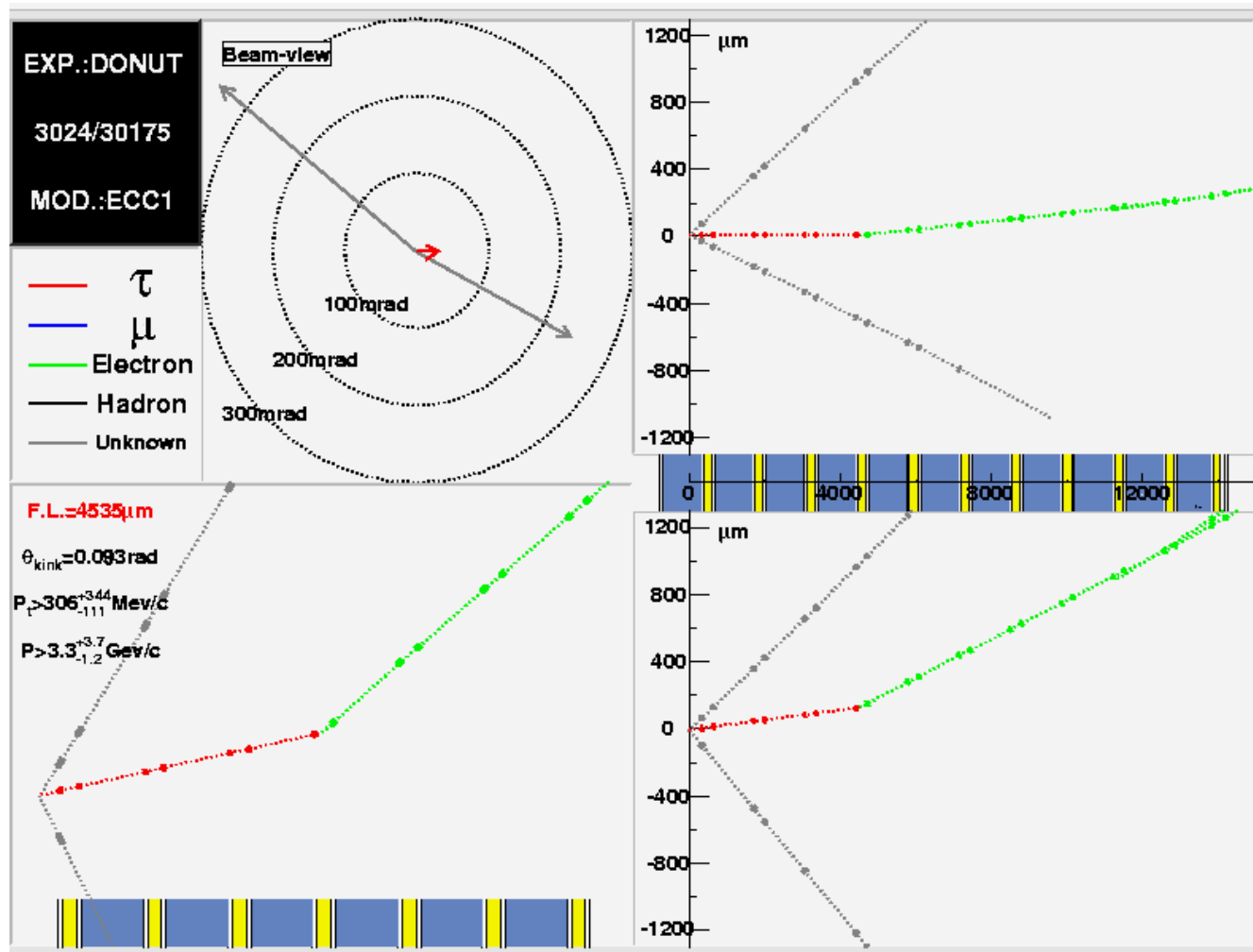
- od charmu:  $0.18 \pm 0.03$  przyp.

- od wt. rozpr.  
 $0.16 \pm 0.04$  przyp

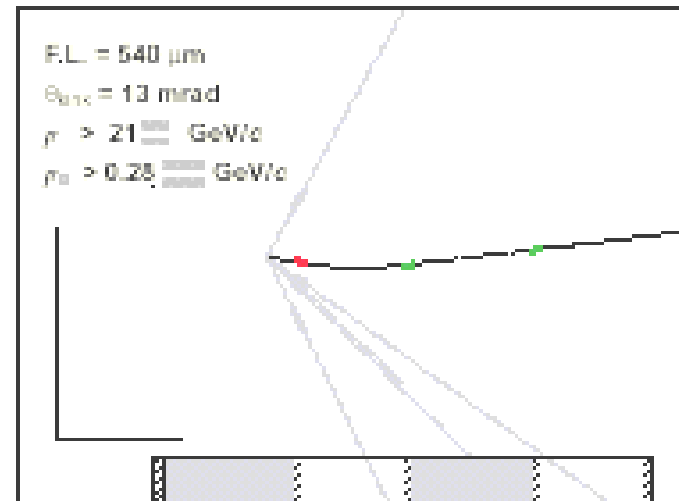
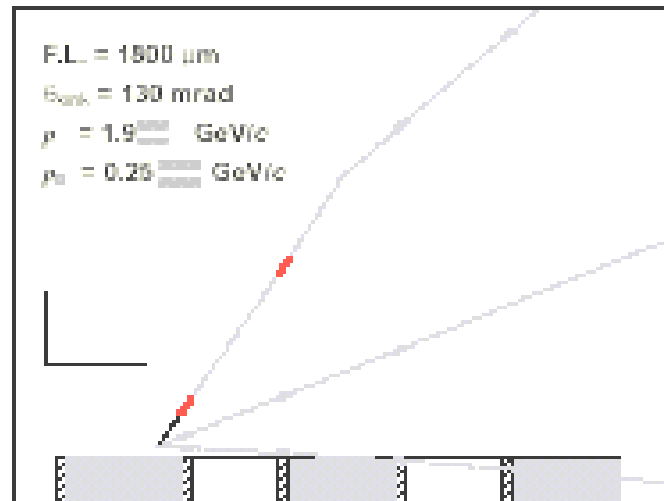
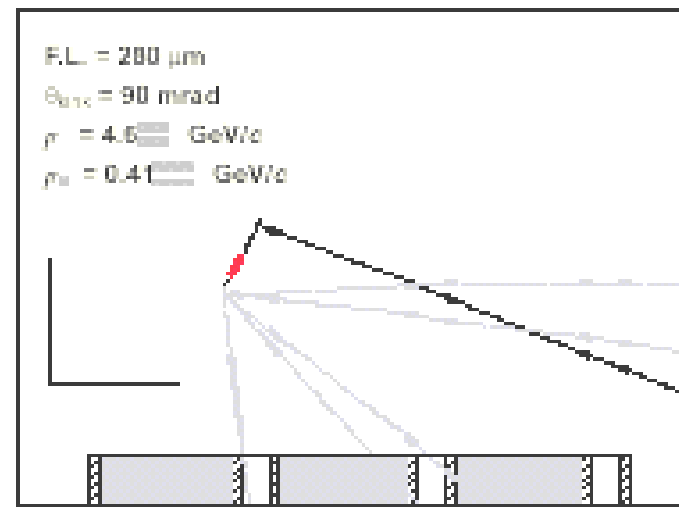
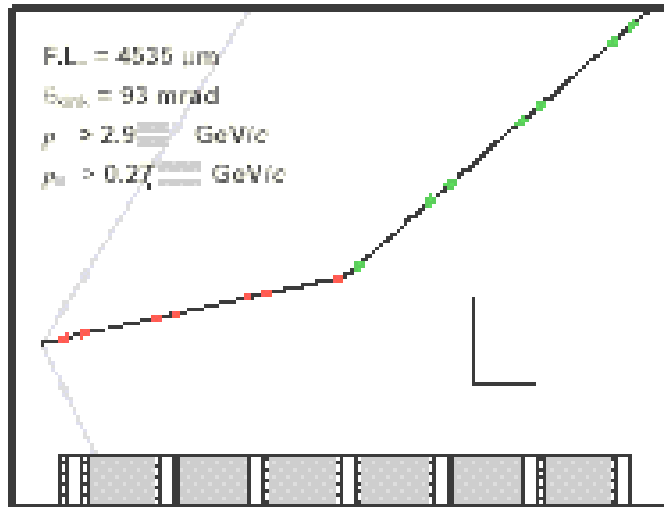
**$4 \pm 0.34$  przyp.  $v_T$**



# DONUT — przypadek oddziaływania $\nu_T$

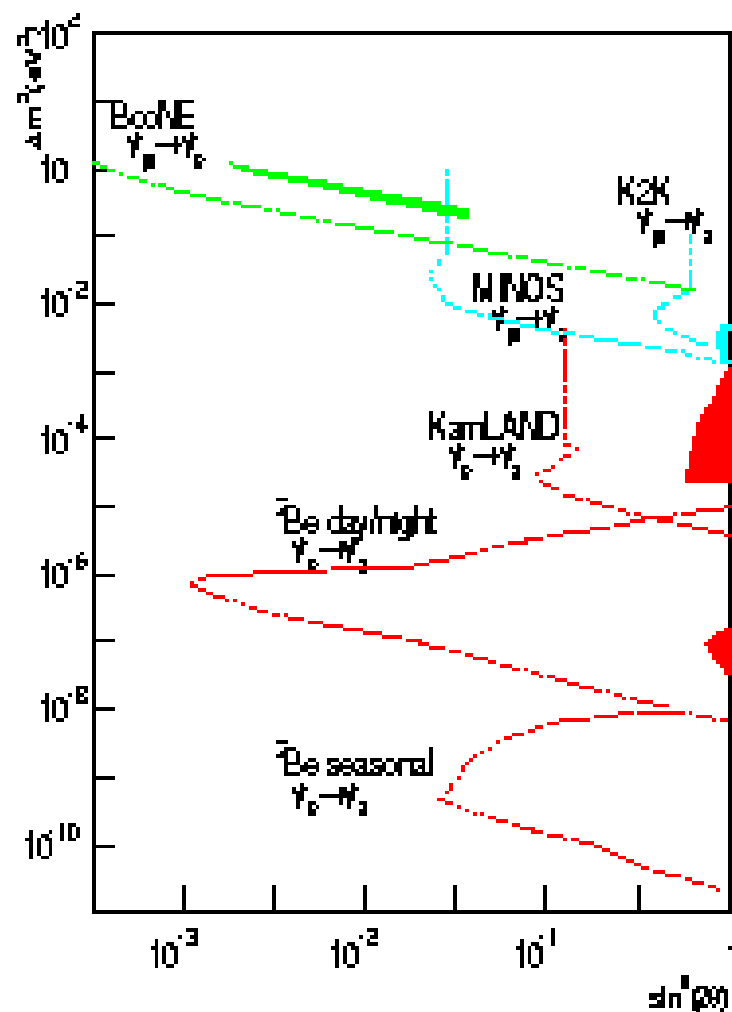
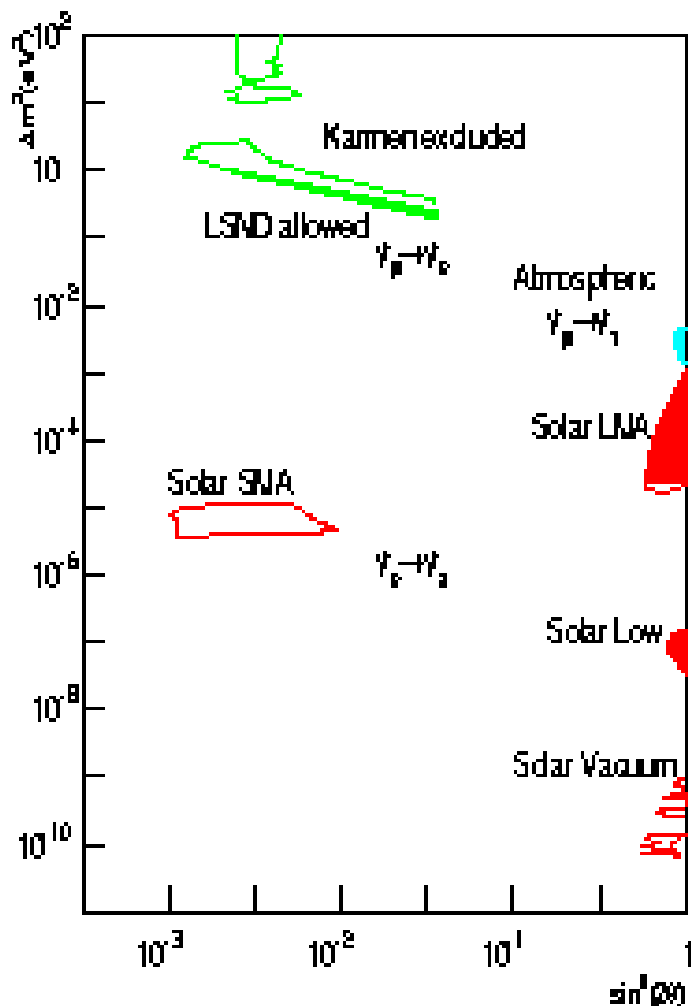


# DONUT — 4 przypadki oddziaływań $\nu_T$





# Oscylacje neutrin- stan obecny i przyszły



---

# Program CNGS

---

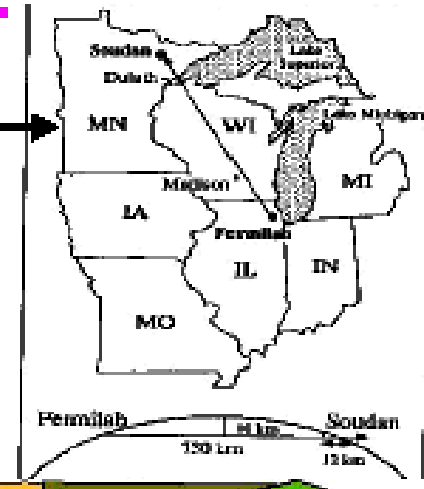
- Ů Jeden z trzech programów badawczych z tzw. długą bazą w oparciu o akceleratorowe wiązki neutrin (K2K w Japonii, NuMi w USA, CNGS w Europie)
- Ů CNGS — wiązka neutrin mionowych z CERN-u do Gran Sasso, program nastawiony na zaobserwowanie oddziaływań neutrin taonowych pochodzących z oscylacji neutrin mionowych, rekomendowany eksperyment OPERA, w fazie przed ostatecznym „proposalem” eksperyment ICARUS/“ICANOE” bazujący na komorach TPC wypełnionych ciekłym argonem oraz konkurencyjny projekt MONOLITH dla badań neutrin atmosferycznych.

# Eksperymenty neutrinowe z długą bazą

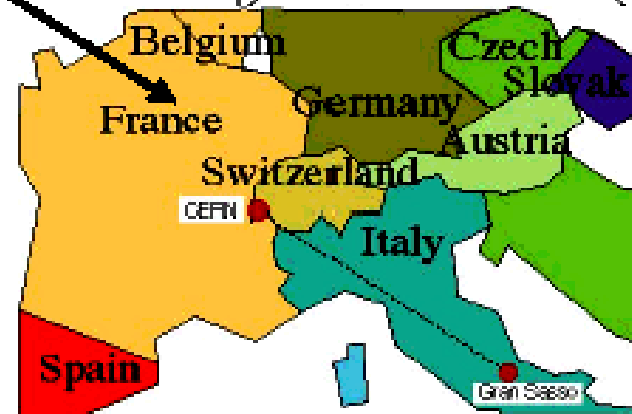
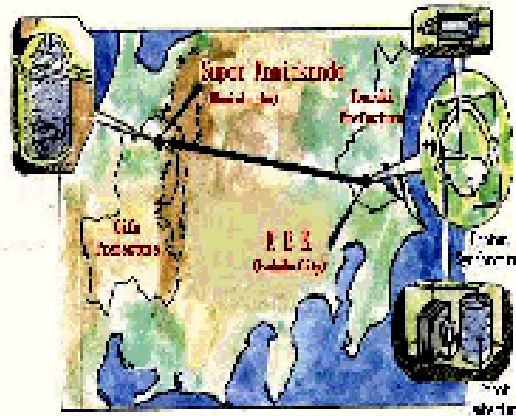
**Japan: K2K  
(250 km)**



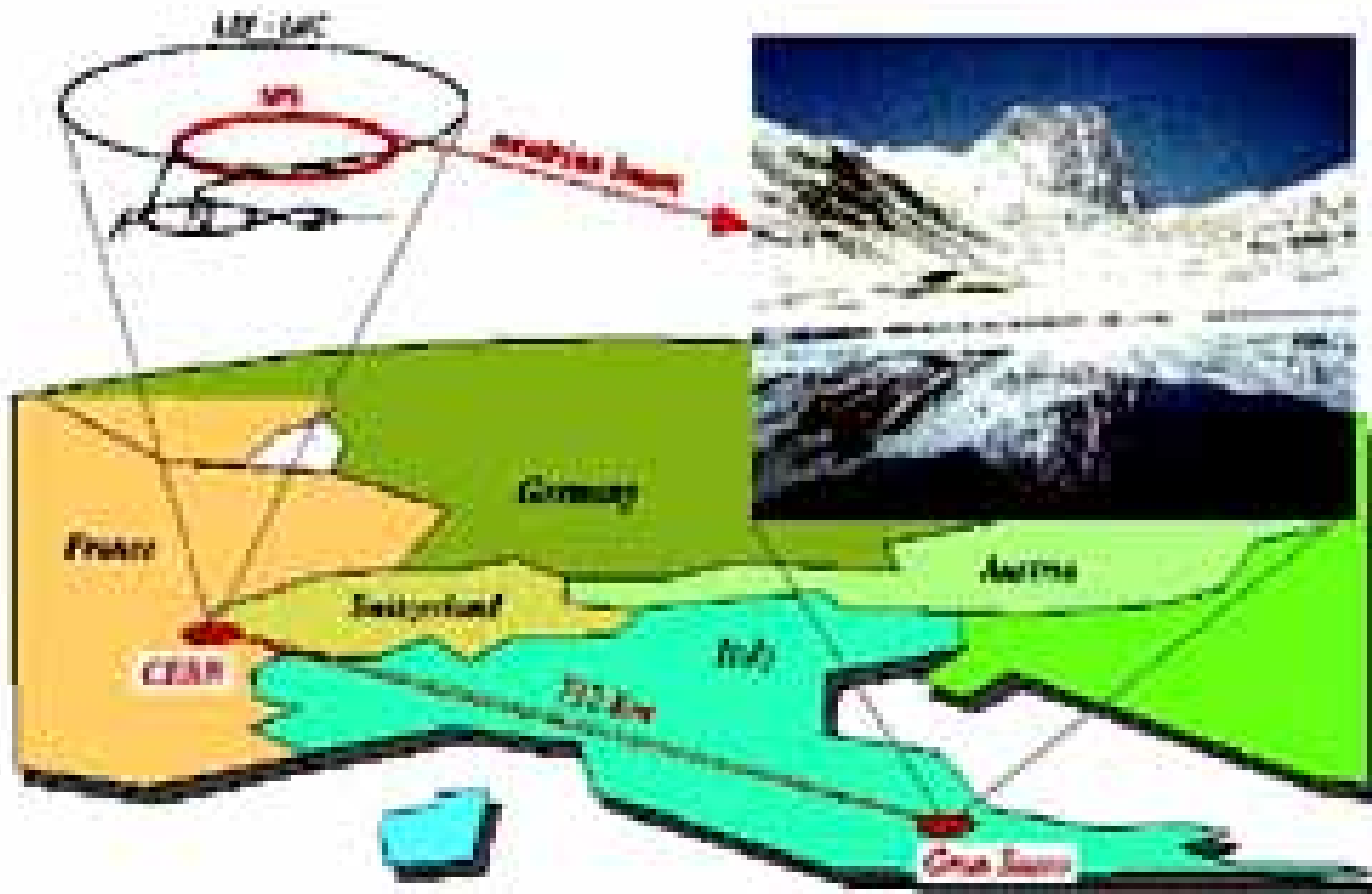
**USA: NUMI  
(732 km)**



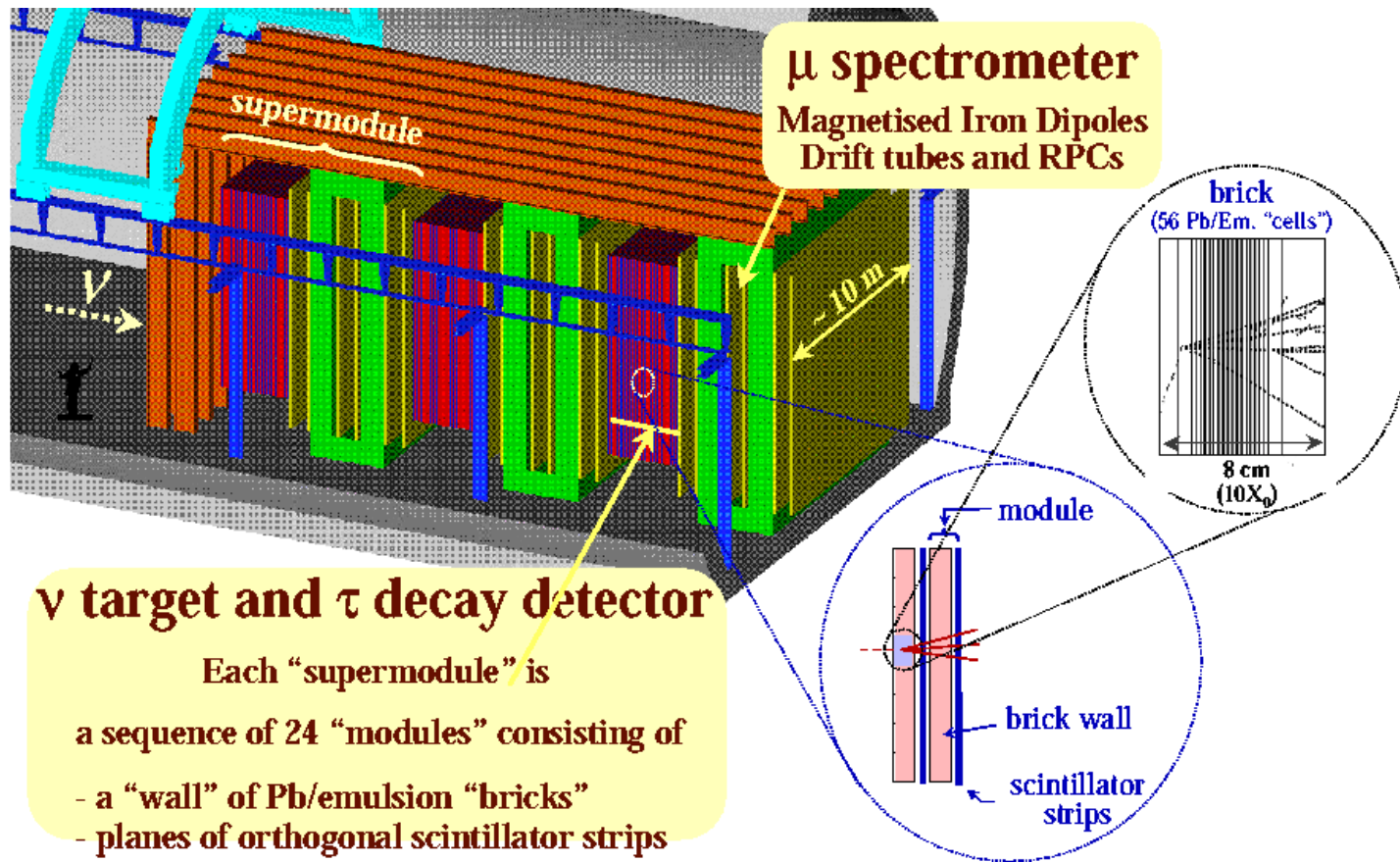
**Europe: NGS  
(732 km)**



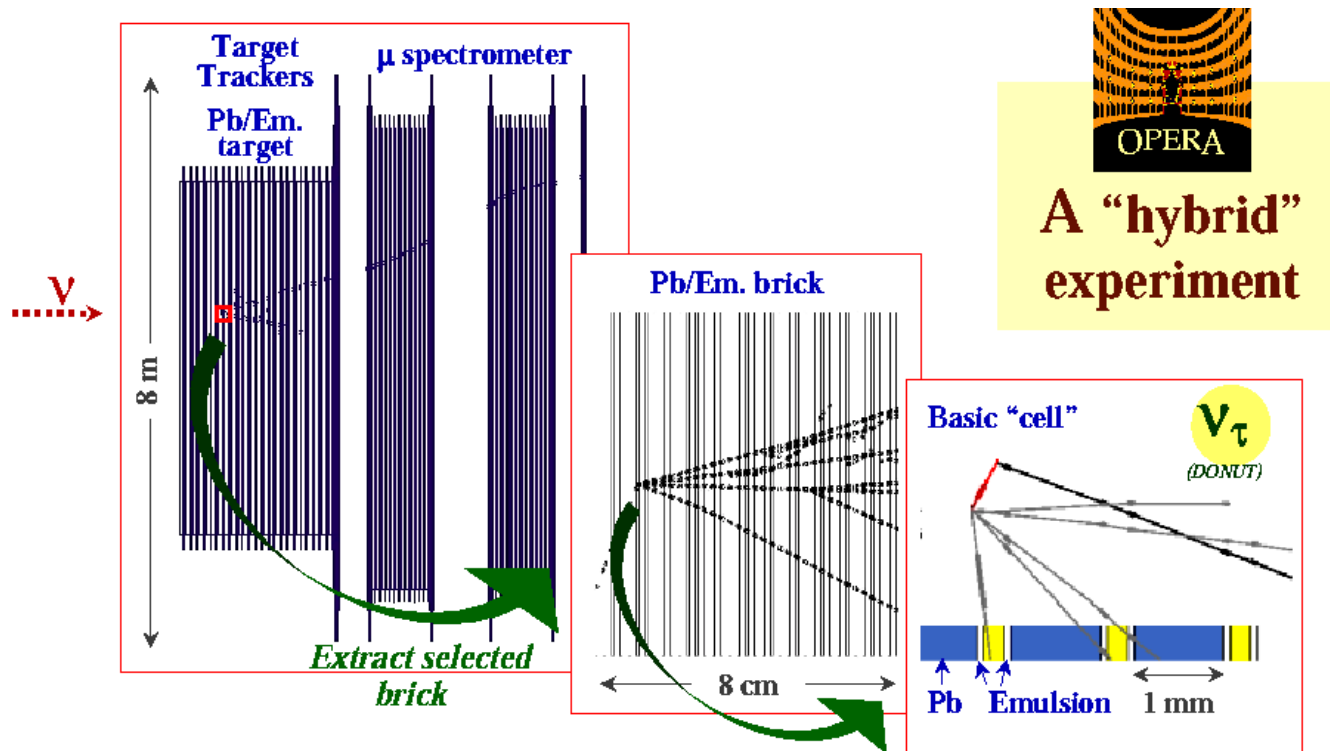
# Wiązka neutrin z CERN-u do Gran Sasso



# Eksperyment OPERA



# Eksperyment OPERA



**OPERA**

A "hybrid" experiment

**Electronic detectors**  
→ select  $\nu$  interaction brick  
→  $\mu$  ID, charge and p

**Emulsion scanning**  
→ vertex search  
→ decay search  
→ e/ $\gamma$  ID, kinematics

---

# ICARUS/"ICANOE" - wielkie komory TPC wypełnione ciekłym argonem

---

- Ů Wykorzystywane zjawisko jonizacji w ciekłym argonie wzdłuż torów cząstek naładowanych, trójwymiarowy obraz przypadku oddziaływania w oparciu o pomiar sygnałów na drutach (dwie współrzędne) i o pomiar czasu dryfu (trzecia współrzędna).
- Ů „Elektroniczna komora pęcherzykowa” — uniwersalny detektor dla fizyki neutrin, pozwalający na równoczesne rejestrowanie oddziaływań neutrin atmosferycznych i neutrin z wiązki
- Ů Udane testy prototypów aż do 15 ton ciekłego argonu

---

# ICARUS/"ICANOE"

---

- Ů ICARUS — 2 komory TPC po 300 ton ciekłego argonu, pierwsza komora gotowa, napełnienie ciekłym argonem w grudniu, testy z kosmiką w Pavii w grudniu i na początku 2001 roku, następnie wyposażenie w detektor drugiego kriostatu, przewiezienie i uruchomienie w Gran Sasso na przełomie 2001/2002, w marcu 2001 dokument o pomiarach fizycznych możliwych w oparciu o ten detektor.
- Ů „ICANOE” — detektor w fazie projektowania, około 10 razy większy od ICARUSA, budowany przez kilka lat, bogaty program fizyczny, realizowany przez co najmniej 5 lat i obejmujący badania oddziaływań neutrin z wiązki CNGS, neutrin atmosferycznych i poszukiwania rozpadów protonu.



# ICARUS

Under construction

Number of independent containers = 2

Single container Internal Dimensions: Length = 19.6 m , Width = 3.9 m , Height = 4.2 m

Total (cold) Internal Volume = 534 m<sup>3</sup>

Sensitive LAr mass = 476 ton

Number of wires chambers = 4

Readout planes / chamber = 3 at 0° , ± 60° from horizontal

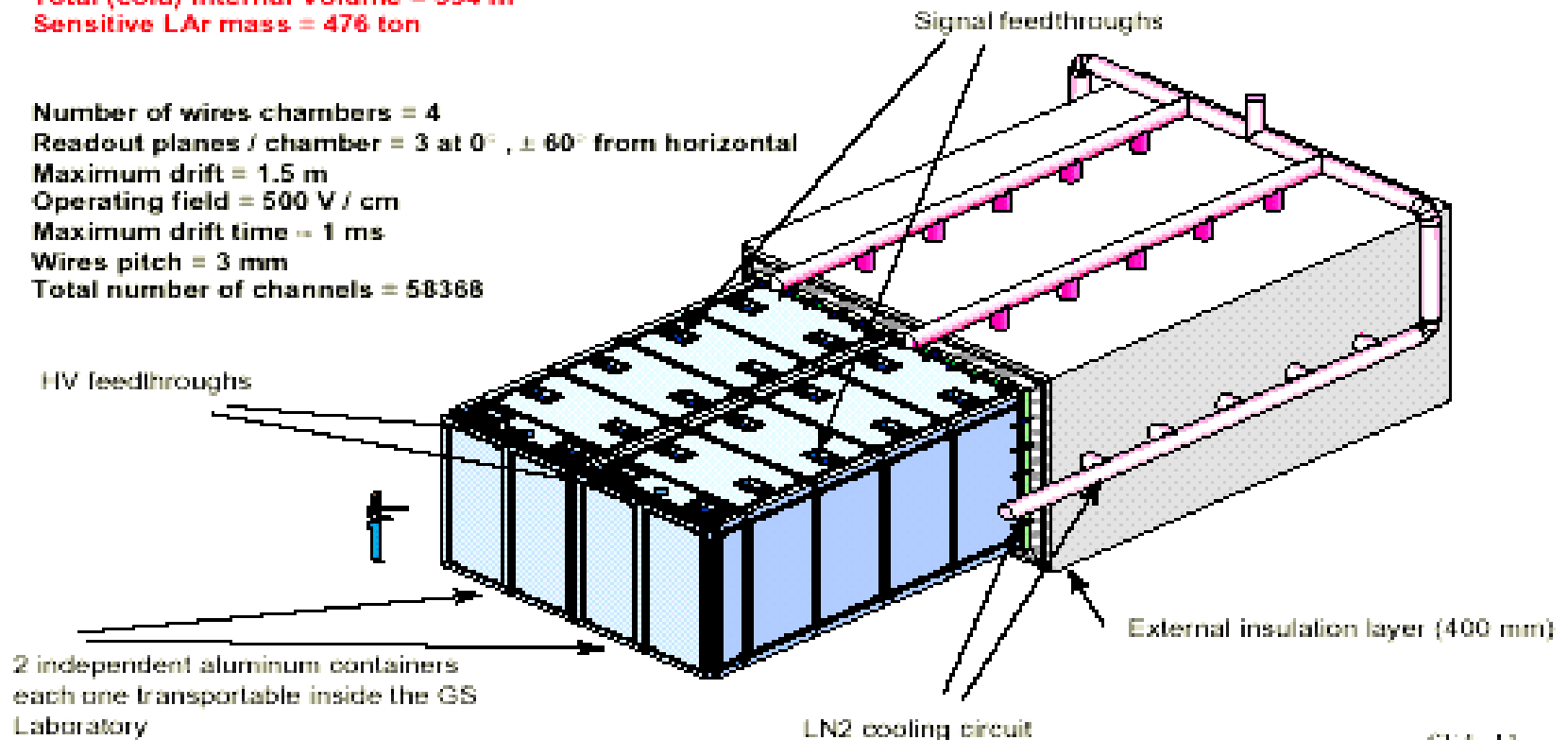
Maximum drift = 1.5 m

Operating field = 500 V / cm

Maximum drift time = 1 ns

Wires pitch = 3 mm

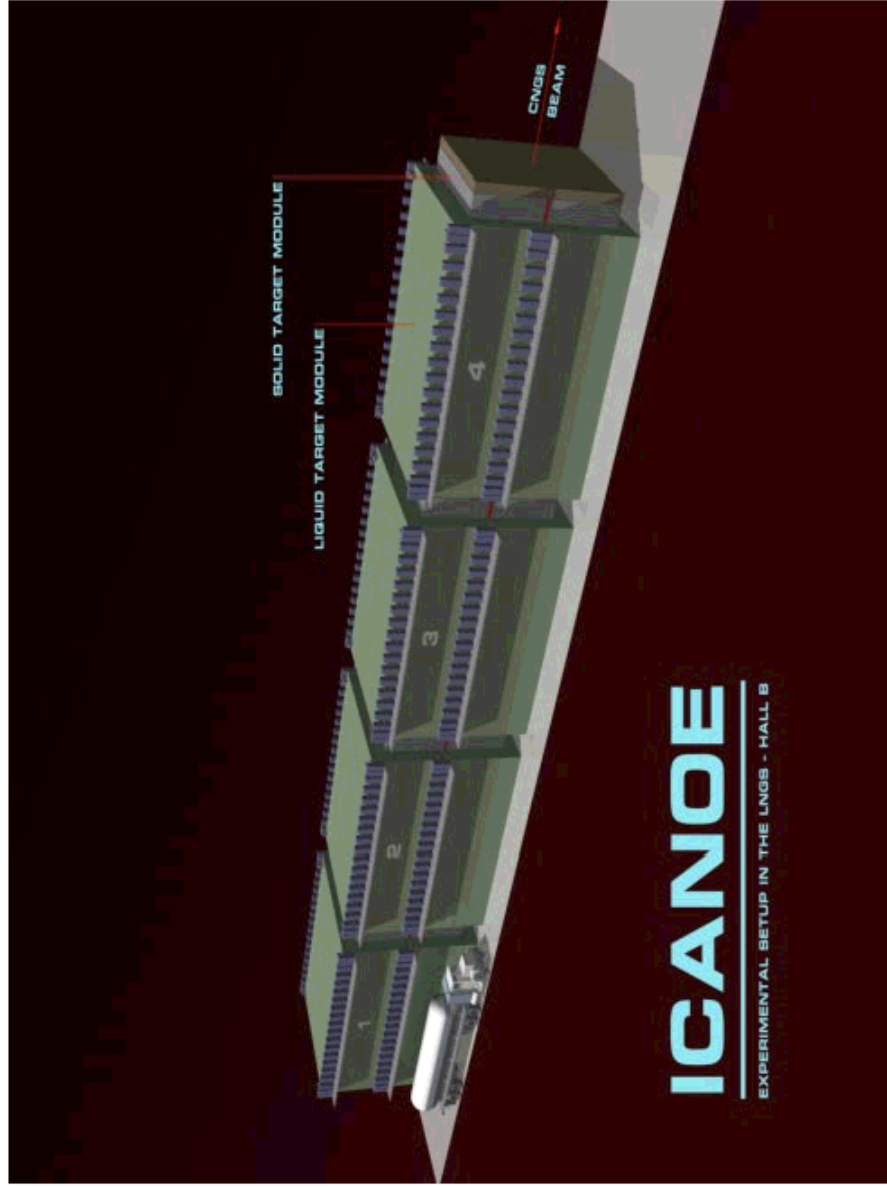
Total number of channels = 58368



Slide 11

# "ICANOE"

---



---

# Dynamiczny rozwój tematyki neutrinowej

---

Ů Ilustracja – wzrost liczby prac ze słowem „neutrino” względem liczby prac ze słowem „kwark” w tytule (informacja z konferencji Neutrino 2000, w oparciu o biblioteczny server xxx.lanl.gov)

rok	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000 (do 15.6)
neutrino	75	174	246	310	385	443	706	831	406
kwark	258	600	873	1064	1180	1274	1354	1373	577
n/k	.290	.290	.282	.291	.326	.348	.521	.605	.704