

Eksperymenty z długą bazą w Stanach Zjednoczonych

Teraźniejszość i bliska przyszłość



- 1 Wiązka neutrin NuMI
- 2 MINOS(2005-2012)
- 3 NOvA, 2013-
- 4 MINOS+(2013-2016)
- 5 Wykorzystanie NuMI - nowe idee

OSCYLACJE NEUTRIN

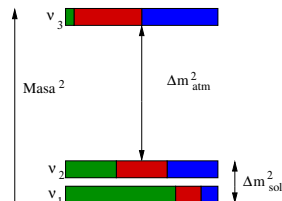
MACIERZ MIESZANIA

Trzy zapachy neutrin jako kombinacja trzech stanów własnych masy.

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \\ \nu_\tau \end{pmatrix} = U \begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \\ \nu_3 \end{pmatrix}$$

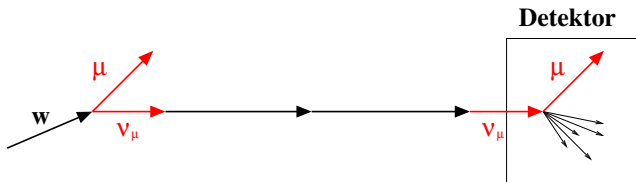
$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \\ \nu_\tau \end{pmatrix} =$$

$$\underbrace{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c_{23} & s_{23} \\ 0 & -s_{23} & c_{23} \end{pmatrix}} \underbrace{\begin{pmatrix} c_{13} & 0 & s_{13}e^{-i\delta} \\ 0 & 1 & 0 \\ -s_{13}e^{i\delta} & 0 & c_{13} \end{pmatrix}} \underbrace{\begin{pmatrix} c_{12} & s_{12} & 0 \\ -s_{12} & c_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}} \begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \\ \nu_3 \end{pmatrix}$$

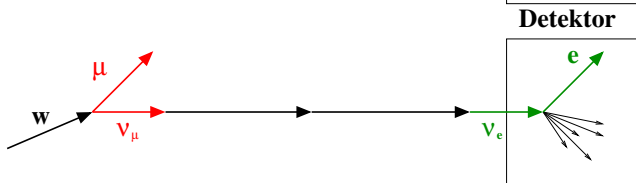


$s_{ij} = \sin \theta_{ij}$, $c_{ij} = \cos \theta_{ij}$, $\delta \rightarrow$ faza łamania symetrii CP

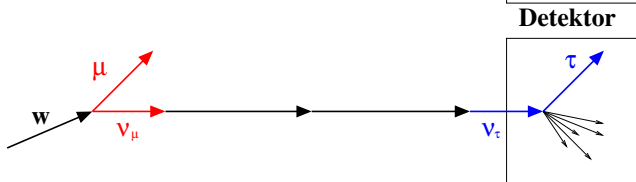
Podstawy pomiaru



Pomiar zanikania ν_μ
z wiązki



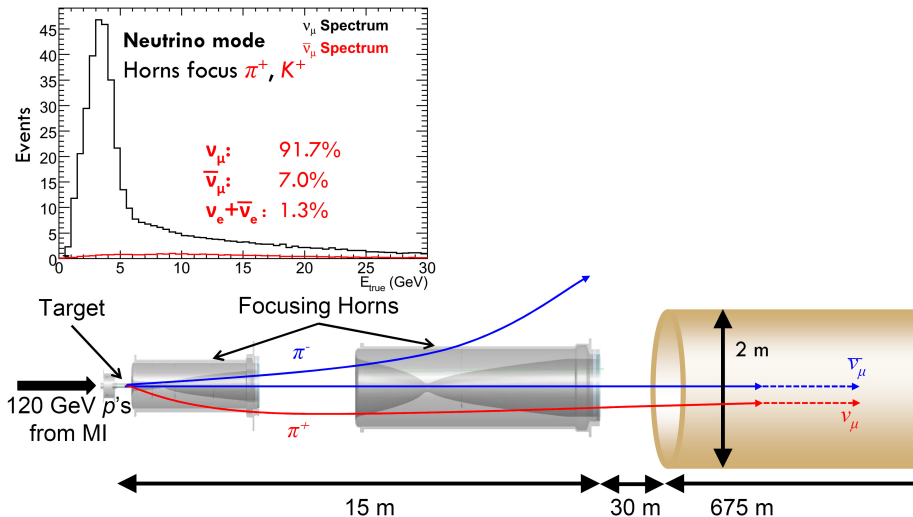
Pomiar pojawiania
się ν_e w wiązce ν_μ



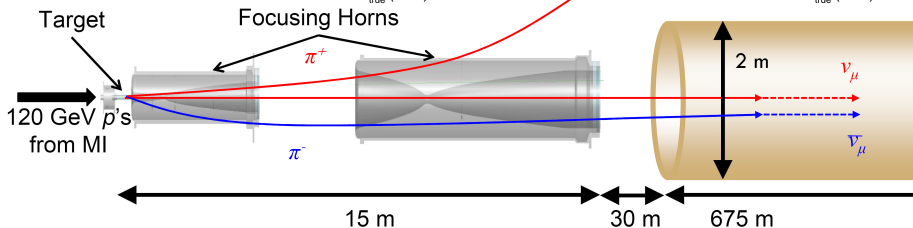
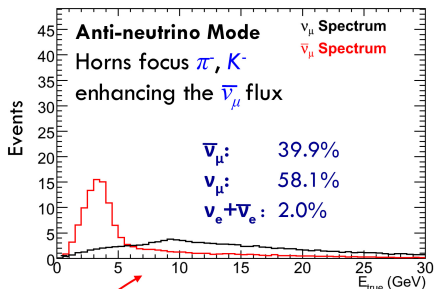
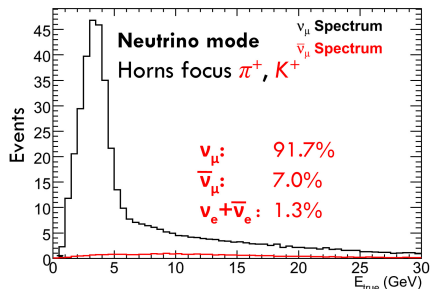
Pomiar pojawiania
się ν_τ w wiązce ν_μ

Wiązka neutrin NuMI

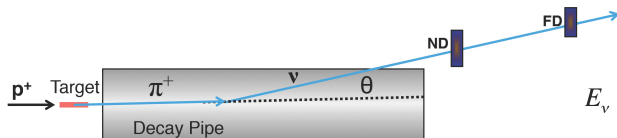
Neutrino dla eksp. MINOS do 2012 r



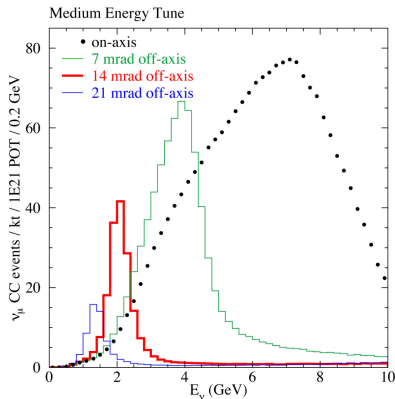
Neutrino i antyneutrino dla eksp. MINOS do 2012 r



NuMI dla eksperymentu NOvA

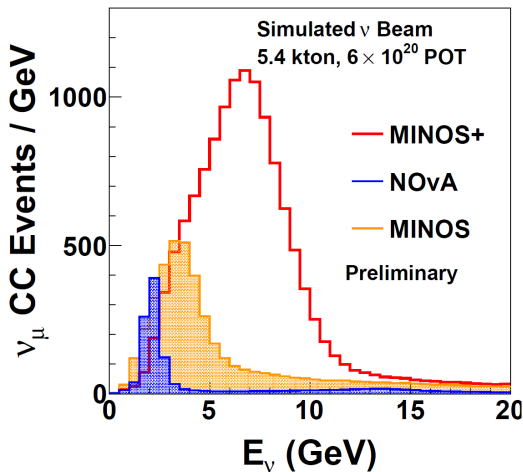


$$E_\nu \approx 0.43 \frac{E_\pi}{1 + \gamma^2 \theta_\nu^2}$$



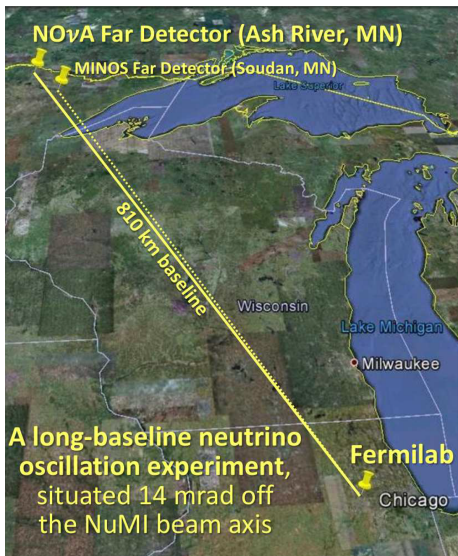
- Obecnie rozbudowa wiązki (05.2012-05.2013)
- 350kW $\rightarrow$ 700kW
- Detektory eksperymentu NOvA ustawione są 14 mrad poza osią wiązki
- 3 lata mod neutrinowy + 3 lata mod antyneutrinowy, 6×10^{20} POT/rok

Wiązka neutrin dla eksperymentu MINOS+



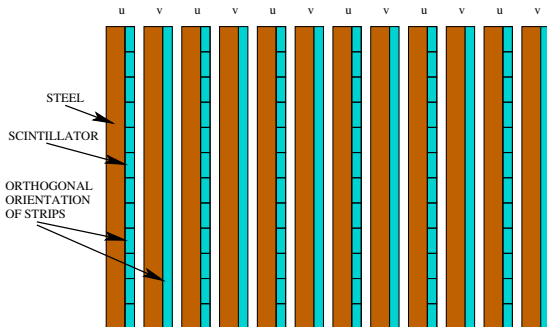
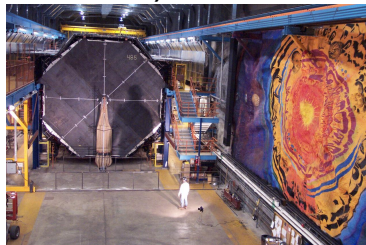
Eksperyment MINOS+ →
kontynuacja eksperymentu
MINOS na osi wiązki dla
eksperymentu NOvA

MINOS, MINOS+, NOvA - lokalizacja



- MINOS, MINOS+ i NOvA: bliskie i dalekie detektory.
- Bliskie detektory: w Fermilab'ie
- Dalekie detektory: MINOS, MINOS+ (735km od źródła), NOvA (810km)

MINOS(2005-2012)

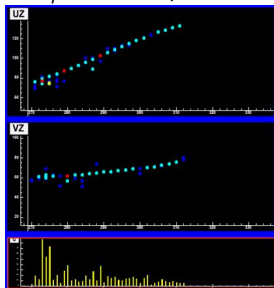


- naprzemiennie:
stalowe płyty (2.54 cm)
i paski scyntylatora
(1cm)

Oddziaływania neutrin w detektorach eksp. MINOS

ν_μ (zanikanie $\bar{\nu}_\mu$)

$$\nu_\mu + N \rightarrow \mu + X$$

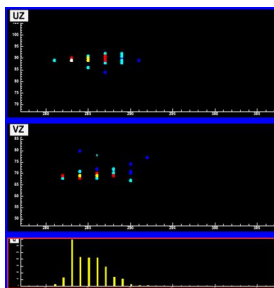


ν_μ -CC, $\bar{\nu}_\mu$ -CC

długi tor μ

pojawianie się ν_e

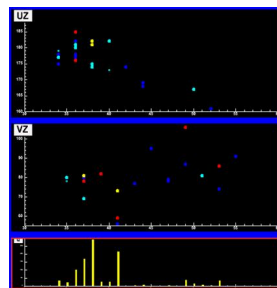
$$\nu_e + N \rightarrow e + X$$



ν_e -CC

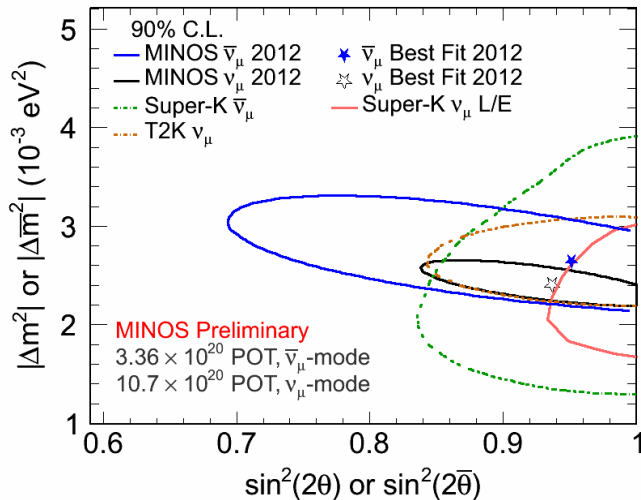
zwarte kaskady

$$\nu_X + N \rightarrow \nu_X + X$$



NC

rozproszone kaskady

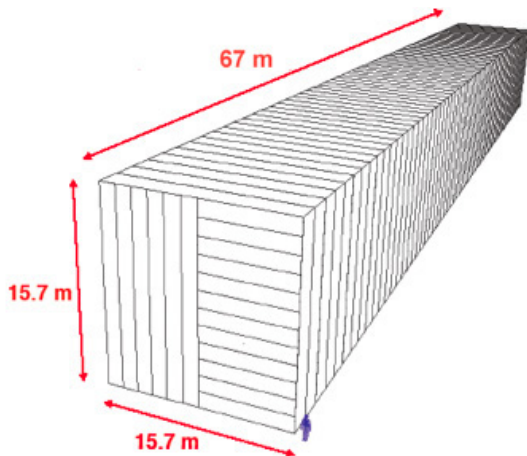


Obecnie najbardziej precyzyjny na świecie pomiar większego Δm^2 i $\Delta \bar{m}^2$.

NOvA (2013-)

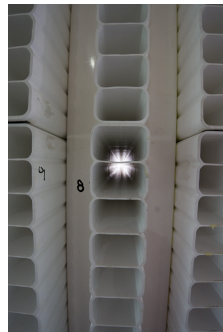


Detektor NOvA



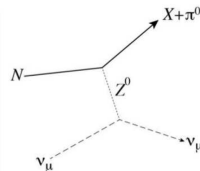
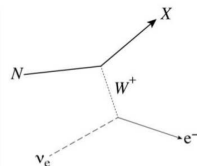
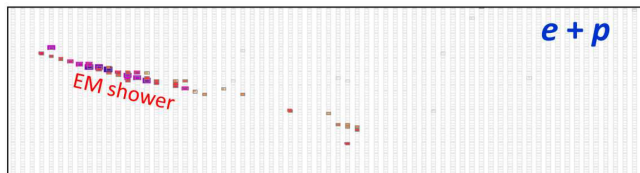
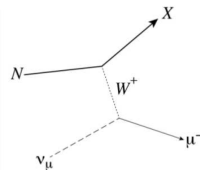
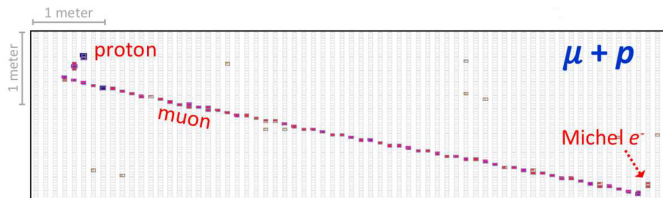
Daleki detektor 14 kton (Bliski 0.3 kton).
Deleki detektor na powierzchni 986
płaszczyzn, każda $0.15X_0$

Kształtki z PCV, każda
składająca się z 16 cel
Pojedyncza cела
 $3.9\text{cm} \times 6\text{cm} \times 15.7\text{m}$
Cele wypełnione ciekłym
scyntylatorem + światłowód



+ APD

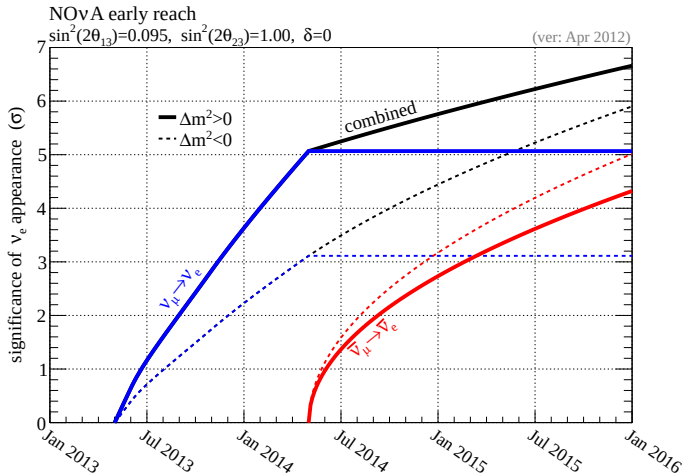
Oddziaływania neutrin w detektorach eksp. NOvA



NOvA - fizyczne cele

$$\nu_\mu \rightarrow \nu_e \text{ i } \overline{\nu}_\mu \rightarrow \overline{\nu}_e$$

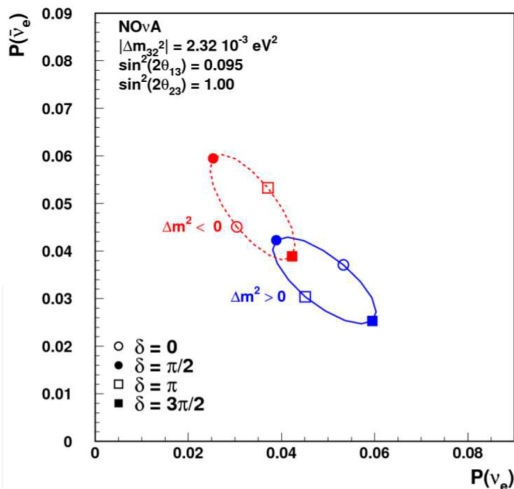
● Pomiar θ_{13}



NOvA - fizyczne cele

$$\nu_\mu \rightarrow \nu_e \text{ i } \bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_e$$

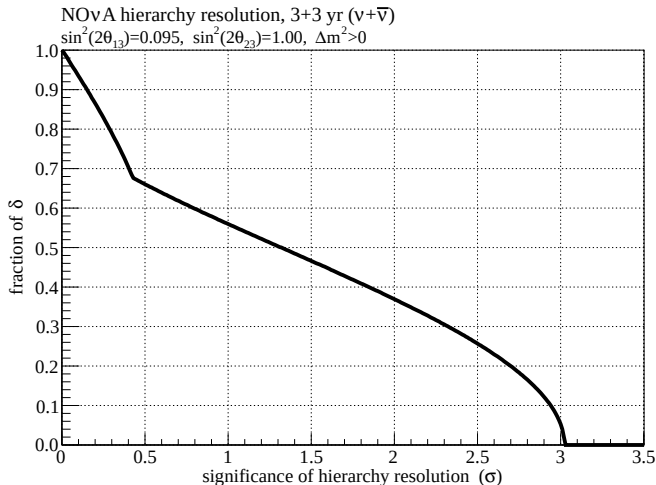
$P(\bar{\nu}_e)$ vs. $P(\nu_e)$ for $\sin^2(2\theta_{23}) = 1$



- Hierarchia mas neutrin
- δ_{CP}
- Oktant θ_{23}

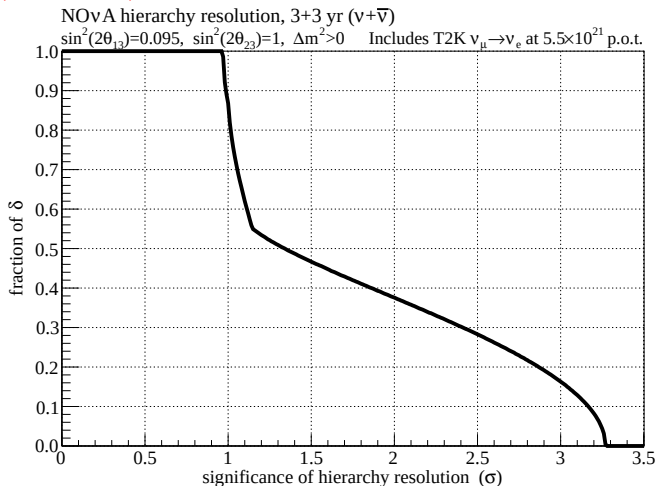
NOvA - fizyczne cele, rozróżnienie hierarchii mas

$\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ i $\bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_e$ Hierarchia mas neutrin - sama NOvA



NOvA - fizyczne cele, rozróżnienie hierarchii mas

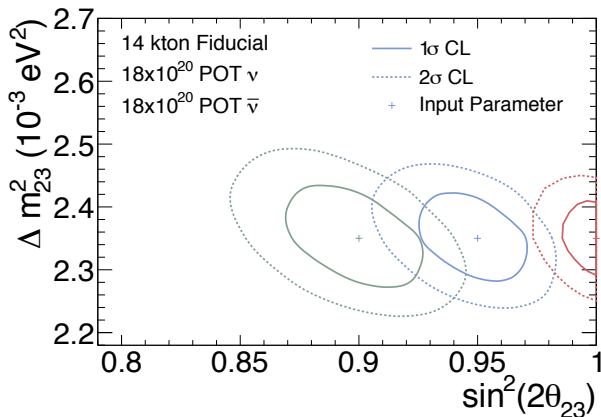
$\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ i $\bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_e$ Hierarchia mas neutrin - NOvA + T2K



NOvA - fizyczne cele

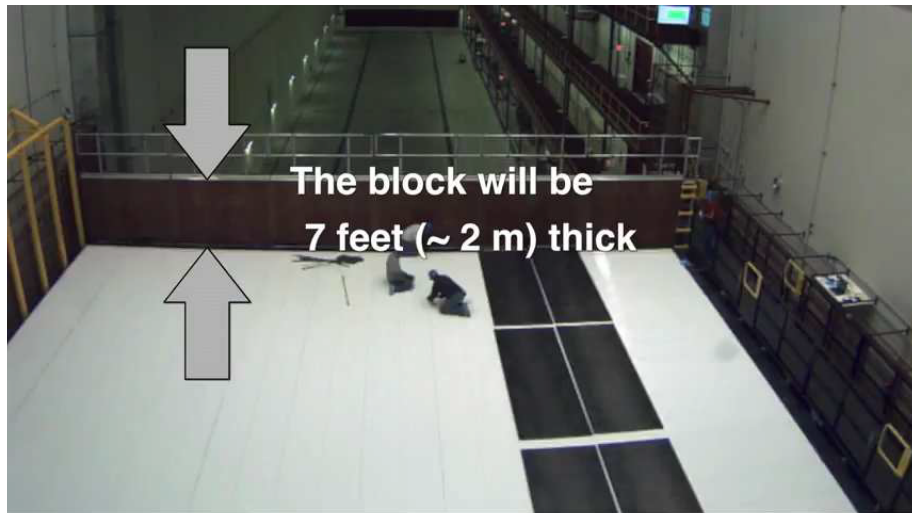
$$\nu_\mu \rightarrow \nu_\mu \text{ i } \bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_\mu$$

- Precyzyjne pomiary $|\Delta m_{atm}^2|$ i θ_{23}
- Wykluczenie maksymalnego mieszania ?



... oraz przekroje czynne, neutrino sterylne ...

NOvA - Budowa Delekiego Detektora



NOvA - Budowa Dalekiego Detektora



NOvA - Budowa Delekiego Detektora



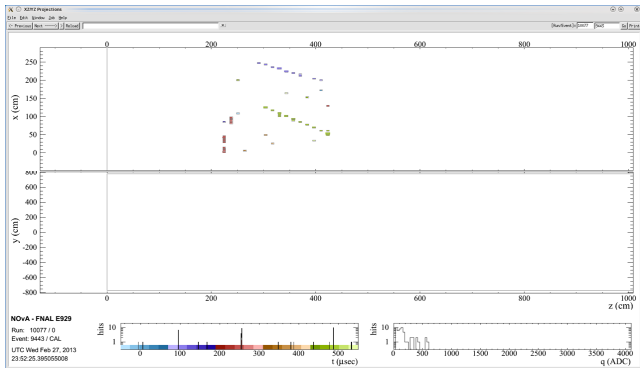
NOvA - Budowa Delekiego Detektora



NOvA - Budowa Delekiego Detektora

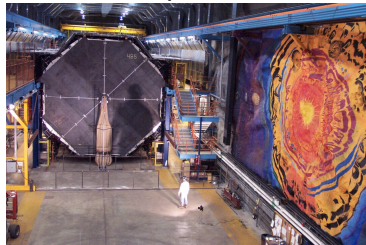


NOvA - Budowa Dalekiego Detektora

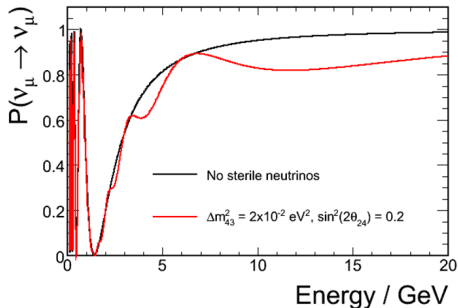
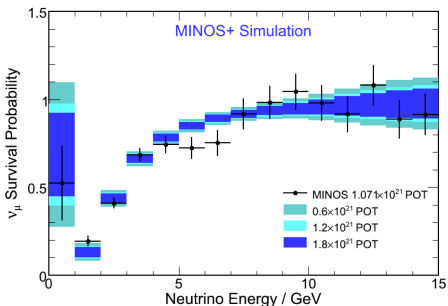


- Pierwszy blok zainstalowany 6.09.2012
- Instalacja jednego bloku trwa miesiąc
- W sumie 28 bloków
- Pierwszy przypadek zaobserwowany 28.02.2013

MINOS+(2013-2016)



- MINOS+ = MINOS na osi wiązki NuMI-NOvA
- Zatwierdzone zbieranie danych przez 3 lata
- Energie lepiej dostosowane do budowy detektorów niż te z oryginalnej wiązki
- Znacznie większa statystyka
- Cele:
 - Zbadanie słabo znanego obszaru energii 4-10 GeV
 - Neutrino sterylne (θ_{24})
 - $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ (oczekiwane $\sim 80\nu_\tau$ rocznie)
 - Inne niestandardowe efekty ...



Około 3000 przypadków oddziaływań CC i 1200 NC będzie rocznie rejestrowanych w obszarze energii 4-10 GeV

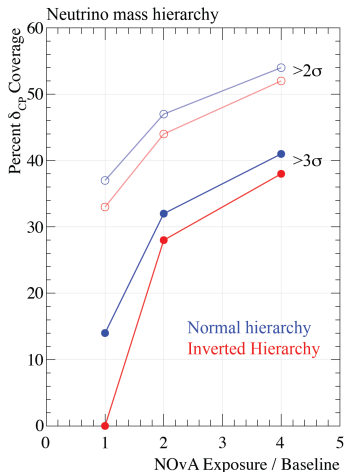
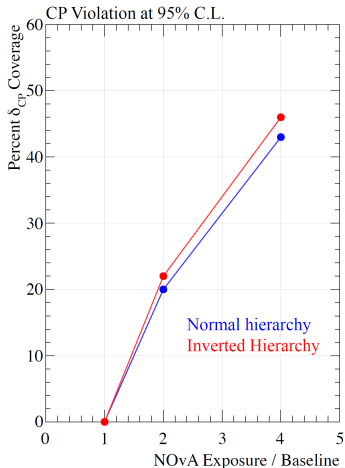
Wykorzystanie NuMI - nowe idee

Nowa grupa robocza: **NuMI exploitation group**.

Cel:

- Zbadanie możliwości nowego wykorzystania wiązki eNuMI i istniejącej w Fermilab'ie/Soudan/Ash River infrastruktury. Plany na najbliższe 5 lat.
- *Conceptual design report* przygotowywany na spotkanie Snowmass w lipcu 2013
- Obecnie badane cztery możliwości:
 - 1 NOvA+ (10 lat + rozbudowa do 18 kt)
 - 2 5-10kt LAr detektor na powierzchni w Ash River (GLADE)
 - 3 Detektor promieniowania Czerenkowa w jednej z zalanych kopalni w pobliżu kopalni Soudan (CHIPS)
 - 4 detektor na osi wiązki, prawdopodobnie rozbudowany MINOS z poprawioną identyfikacją elektronów lub nowy LAr

- 1 Zwiększenie masy do 18 kt i zwiększenie czasu zbierania danych do 10 lat
- 2 Dodatkowy 5kt detektor LAr



Bogaty program neutrinowy w Fermilab'ie:

- eksperymenty z długą bazą
- (eksperymenty z krótką bazą)
- nowa, aktywna grupa badająca możliwości dalszego wykorzystania wiązki NuMI
- LBNE (prezentacja Pawła Przewłockiego)