

" Eksperyment NA61 (SHINE) -pomiar produkcji hadronów powstałych w wyniku naświetlania wiązką protonową tarcz grafitowych"

SEMINARIUM FIZYKI WIELKICH ENERGII

Magdalena Posiadała



- Eksperyment NA61 (SHINE)
 - Program fizyczny
 - Wiązka w T2K
 - Wyniki z pierwszego etapu zbierania danych w 2007

Location:

SHINE-Sps Heavy Ion and Neutrino Experiment

NA61/SHINE at the CERN SPS

LHC



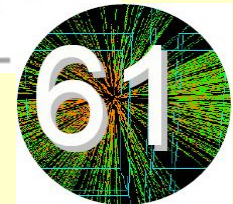
SPS

The NA61/SHINE Collaboration

122 physicists from 24 institutes and 13 countries:



University of Athens, Athens, Greece
University of Bergen, Bergen, Norway
University of Bern, Bern, Switzerland
KFKI IPNP, Budapest, Hungary
Cape Town University, Cape Town, South Africa
Jagiellonian University, Cracow, Poland
Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia
Fachhochschule Frankfurt, Frankfurt, Germany
University of Frankfurt, Frankfurt, Germany
University of Geneva, Geneva, Switzerland
Forschungszentrum Karlsruhe, Karlsruhe, Germany
Institute of Physics, University of Silesia, Katowice, Poland
Jan Kochanowski Univeristy, Kielce, Poland
Institute for Nuclear Research, Moscow, Russia
LPNHE, Universites de Paris VI et VII, Paris, France
Faculty of Physics, University of Sofia, Sofia, Bulgaria
St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia
State University of New York, Stony Brook, USA
KEK, Tsukuba, Japan
Soltan Institute for Nuclear Studies, Warsaw, Poland
Warsaw University of Technology, Warsaw, Poland
University of Warsaw, Warsaw, Poland
Rudjer Boskovic Institute, Zagreb, Croatia
ETH Zurich, Zurich, Switzerland



NA61 (SHINE) – program fizyczny

Fizyka silnie oddziałującej materii

Możliwości odkrywcze:

- Poszukiwania punktu krytycznego silnie oddziałującej materii.

wystąpienie Antoniego
Aduszkiewicza w kwietniu 2008
roku

Dane dla eksperymentów poświęconych badaniu fizyki: neutron oraz promieniowania kosmicznego

Dokładne pomiary:

- Pomiary produkcji hadronów powstałych w wyniku naświetlania tarcz grafitowych, jednej z nich będącej kopią tarczy z projektu badawczego T2K.
- Pomiar produkcji hadronów w oddziaływaniach $p+C$, $(\pi+C)$ potrzebnych dla eksperymentów: Pierre Auger Observatory oraz Cascade.

NA61 (SHINE)- Program fizyczny – Pierre Auger i Kascade (I)

Pomiary promieniowania kosmicznego są oparte na analizie wtórnych cząstek powstałych w wyniku ewolucji kaskad hadronowych.

Ostatnie hadronowe oddziaływania:

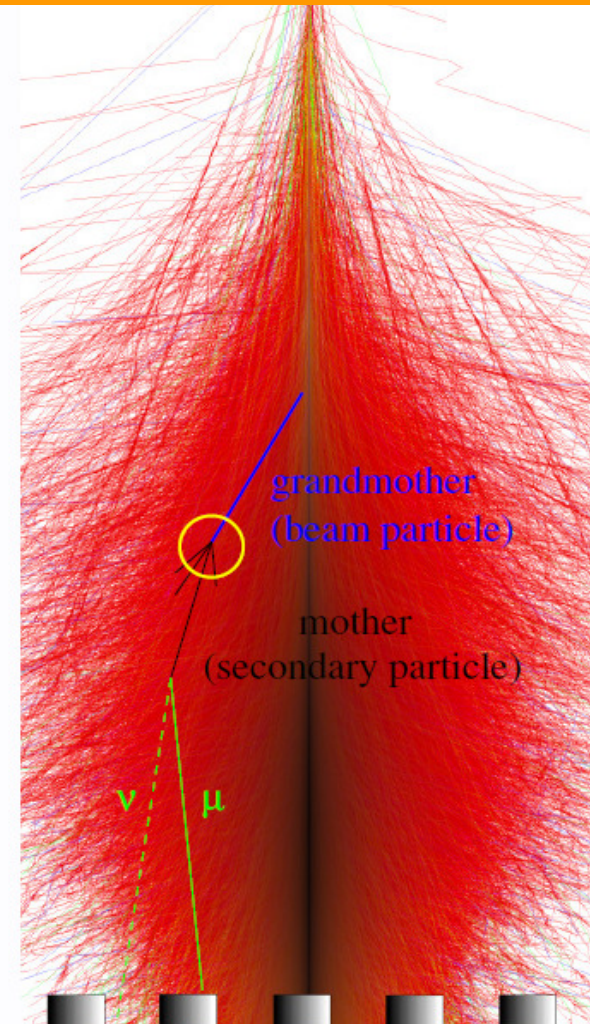
- Cząstki „wiązki”: π , K , p
- Tarcza: powietrze ($\sim C$)
- Wtórne cząstki: π , K

Symulacje:

- Różnice pomiędzy modelami
- Potrzebny pomiar produkcji hadronów

Wiązka	Tarcza	p[GeV]	Rok	Dni	Fizyka
p	C	31	2007	30	T2K,CR
p	C	31	2009	21	T2K,CR
π^-	C	158, 300	2009	14	CR

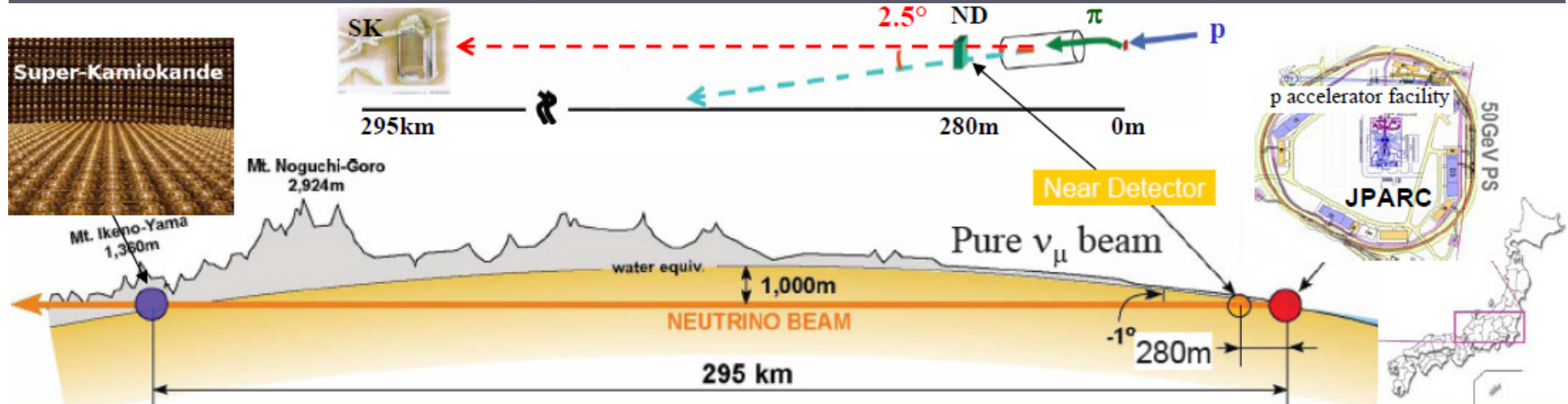
Hadronowa kaskada promieniowania kosmicznego



NA61 (SHINE)- Program fizyczny - T2K (I)

Bardzo ważny punkt programu fizycznego NA61 (SHINE) to :

Dokładny pomiar produkcji hadronów niezbędny do precyzyjnego określenia strumienia neutrin dla eksperymentu T2K.



T2K (Tokai to Kamioka) w J-PARC (JAPONIA):

- Eksperyment neutrinowy z „długą bazą”
- Pomiar kąta θ_{13} poprzez pojawienie $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ oraz θ_{23} , Δm^2_{23} w oscylacji $\nu_\mu \rightarrow \nu_\mu$ znikanie ν_μ
- (31GeV/c) Protony uderzają w tarcze węglową (90 cm) -> intensywna poza osiowa wiązka
- Widmo neutrin mierzone w bliskim (ND280) oraz dalekim (Super-Kamiokande) detektorze

T2K collaboration



Canada

TRIUMF
U. of Alberta
U. of British Columbia
U. of Regina
U. of Toronto
U. of Victoria
York U.

France

CEA Saclay
IPN Lyon
LLR E. Poly
LPNHE-Paris

Germany

RWTH Aachen U.

Italy

INFN Bari
INFN Roma
Napoli U.
Padova U.
Rome U.

Japan

Hiroshima U.
ICRR Kamioka
ICRR RCCN
KEK
Kobe U.
Kyoto U.
Miyagi U. of Edu
Osaka City U.

U. of Tokyo

Korea

Chonnam Nat'l U.
Dongshin U.
Sejong U.
Seoul Nat'l U.
Sungkyunkwan U.

Poland

A.Soltan IPJ
H.Niewodr IFJ
Technical U.
U. of Silesia
Warsaw U.
Wroclaw U.

Russia

INR

Spain

IFIC, Valencia
U.A. Barcelona

Switzerland

Bern
ETHZ
U. of Geneva

UK

U. of Oxford
Imperial C. London
Lancaster U.
Queen Mary, U. of L.
Sheffield U.

STFC/RAL

U. of Liverpool
U. of Warwick

USA

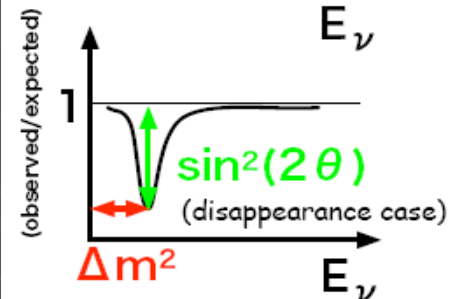
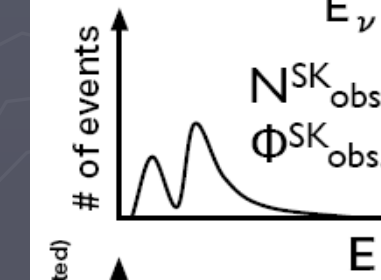
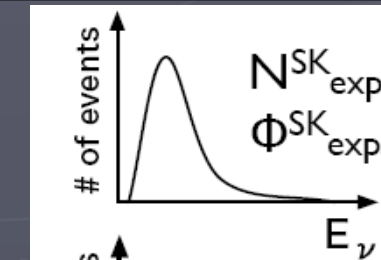
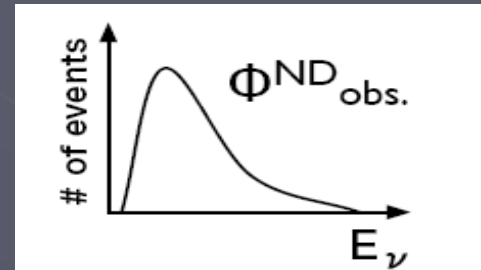
Boston U.
BNL
Colorado State U.
Duke U.
Louisiana State U.
Stony Brook U.
U. of California, Irvine
U. of Colorado
U. of Pittsburgh
U. of Rochester
U. of Washington

- 477 members, 62 Institutes, 12 countries

Jak mierzymy parametry oscylacji w T2K ?

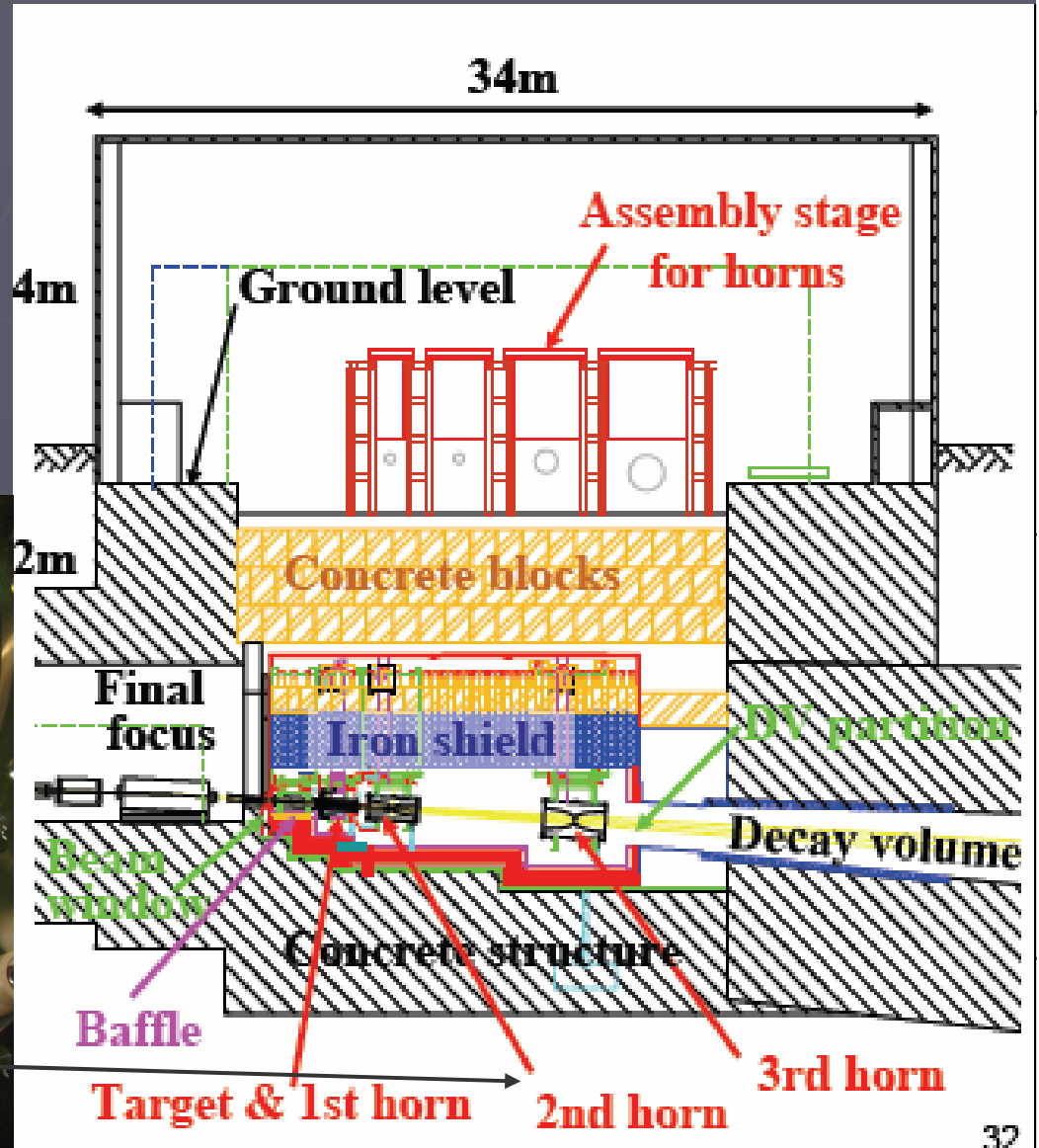
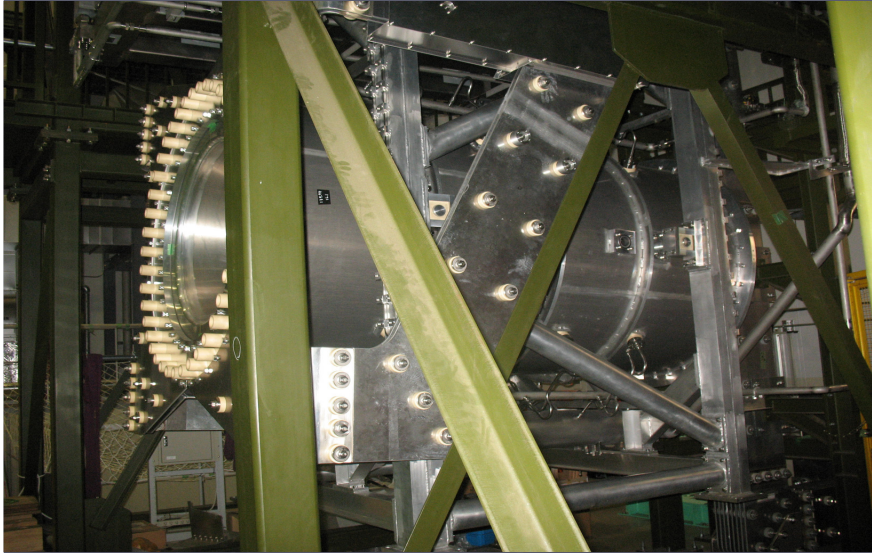
- 1) Stworzenie wąskopasmowej wiązki ν_μ
- 2) Detekcja neutrin
- 3) Przewidywanie strumienia neutrin w SK ($N_{obs} = \Phi_{obs} * \sigma$)
- 4) Wyliczenie parametrów oscylacji przez porównanie liczby przypadków ($N_{obs}^{sk}, N_{exp}^{sk}$) oraz ($\Phi_{obs}^{sk}, \Phi_{exp}^{sk}$) w funkcji energii.

$$\Phi_{exp}^{sk} = \Phi_{obs}^{ND} * R^{MC}(E)$$



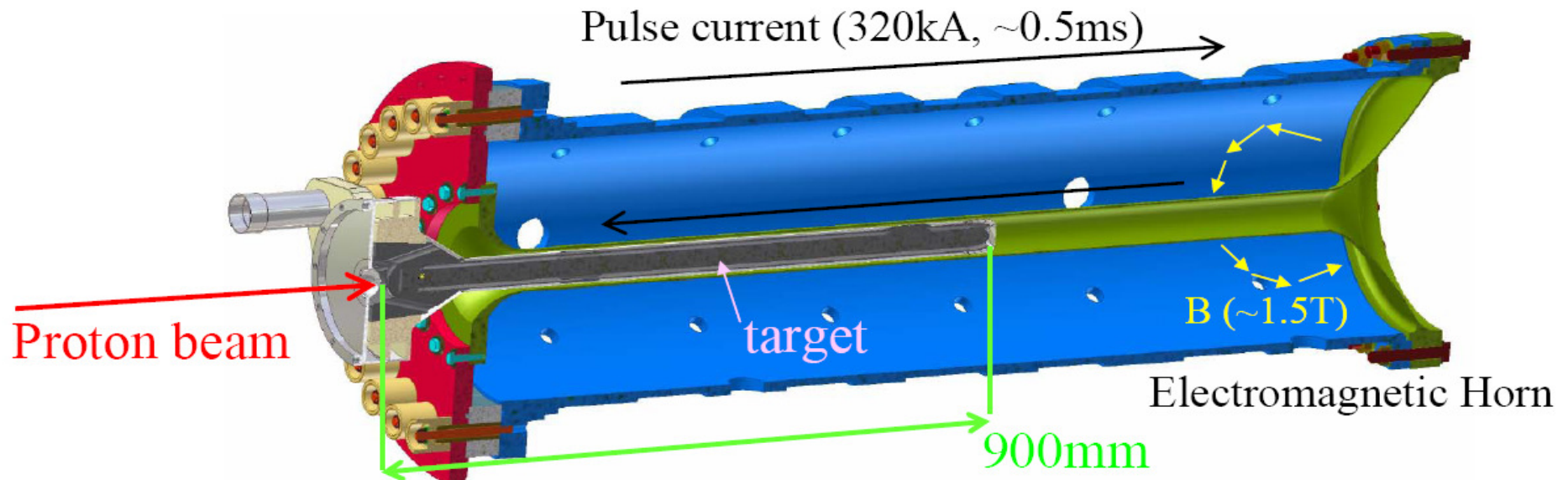
ekstrapolacja

Stacja tarczy- schemat



T2K target

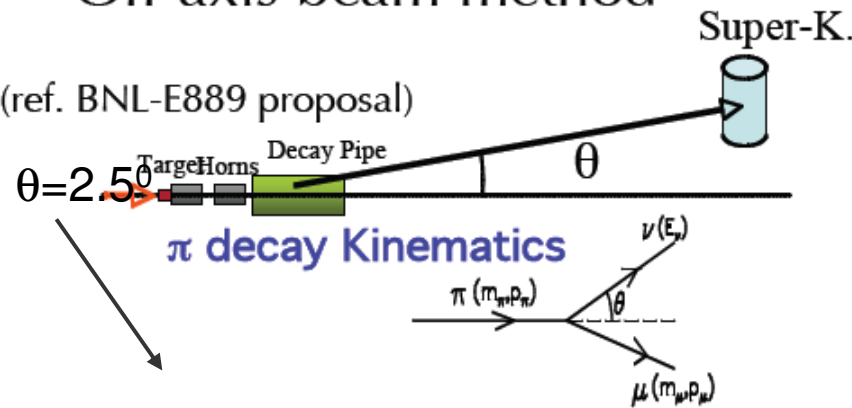
- Material: Isotropic graphite (C) : $\rho=1.82\text{g/cm}^3$
- Length: $900\text{mm} = 1.9 \times \lambda_{\text{int}}$ (85%)
- Diameter: $\phi 26\text{mm}$
 \leftrightarrow Beam size: $\sigma_x = \sigma_y = 4.2\text{mm}$
- Target is installed inside the Electromagnetic horn
 - EM horn generate the toroidal magnetic field to correct pions.
 - Materials between target and the magnetic field:
 - Cooling tube: $t=2\text{mm}$ graphite (C) + 0.3mm Ti-Alloy + 0.5mm ceramic



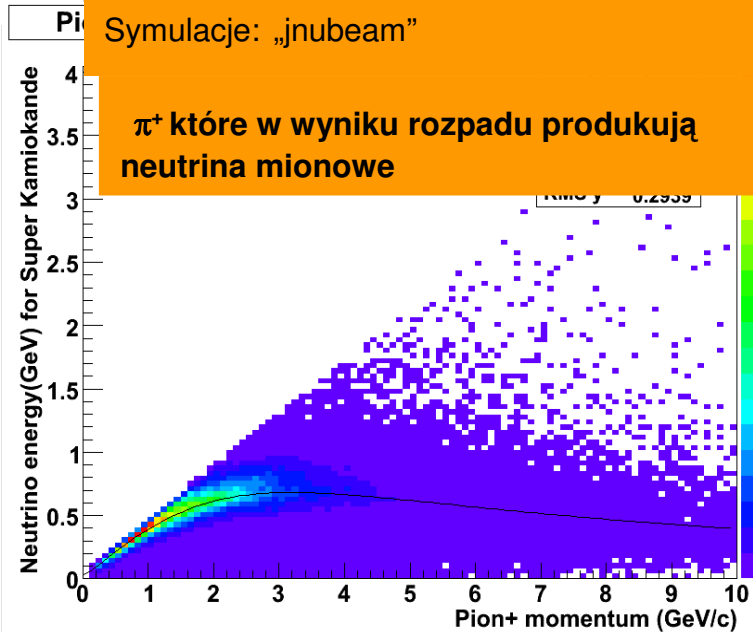
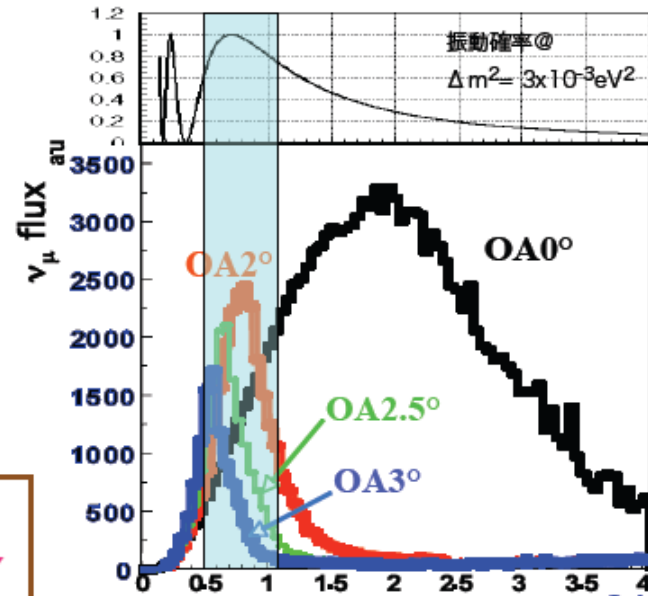
Poza-osiowa wiązka ν_μ

- Off-axis beam method

(ref. BNL-E889 proposal)



$L = 295 \text{ km}$
 $\Delta m^2_{23} = (2.2 \sim 3.0) \times 10^{-3} \text{ eV}^2$ → Oscillation max.
 $E_\nu = 0.5 \sim 0.7 \text{ GeV}$



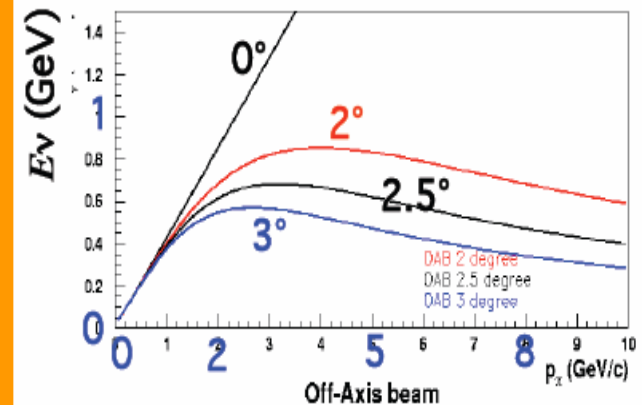
Cechy wiązki poza osiowej:

- węższe widmo energetyczne niż dla osiowej wiązki

- ν_μ o mniejszej średniej energii (zmniejszone tło od oddziaływań NC)

$$\nu_\mu + N = \nu_\mu + N + \pi^0$$

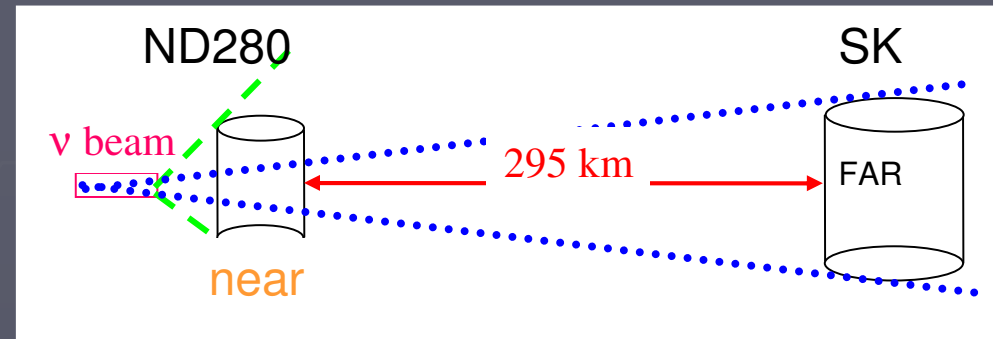
12.11.2009 magdap



$$E_\nu = \frac{m_\pi^2 - m_\mu^2}{2(E_\pi - p_\pi \cos \theta)}$$

$$R = \Phi_{\text{Far}}^{\text{MC}} / \Phi_{\text{Near}}^{\text{MC}}$$

Gdy mamy punktowe oraz idealnie izotropowe źródło to :



$$\Omega_{\text{ND}} = S_{\text{ND}} / (L_{\text{ND}})^2 = (3\text{m})^2 / (280\text{m})^2 \sim 10^{-4} \text{ rad}$$

$$\Omega_{\text{SK}} = S_{\text{SK}} / (L_{\text{SK}})^2 = (40\text{m})^2 / (295\text{m})^2 * 10^{-6} \sim 2 * 10^{-8} \text{ rad}$$

$$\text{Zatem } R = \Omega_{\text{SK}} / \Omega_{\text{ND}} = 0.02 * 10^{-6}$$

$$R = \Phi^{MC}_{Far} / \Phi^{MC}_{Near}$$

1. przewidzieć strumień ν_{μ} w dalekim det.
2. oszacować tło ν_e

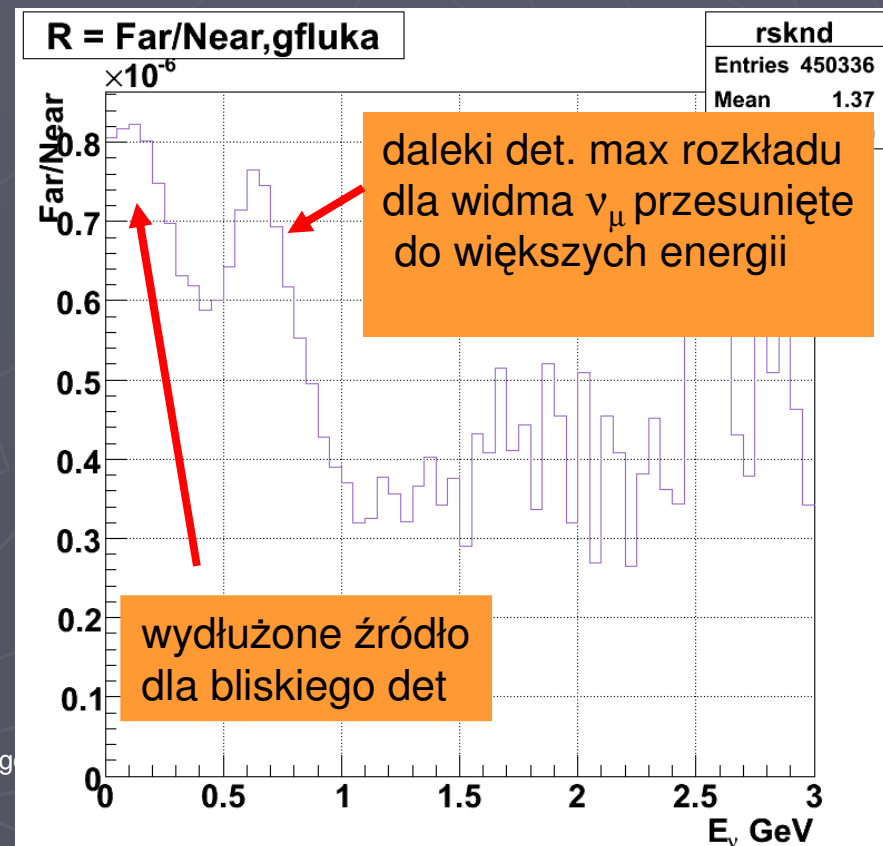
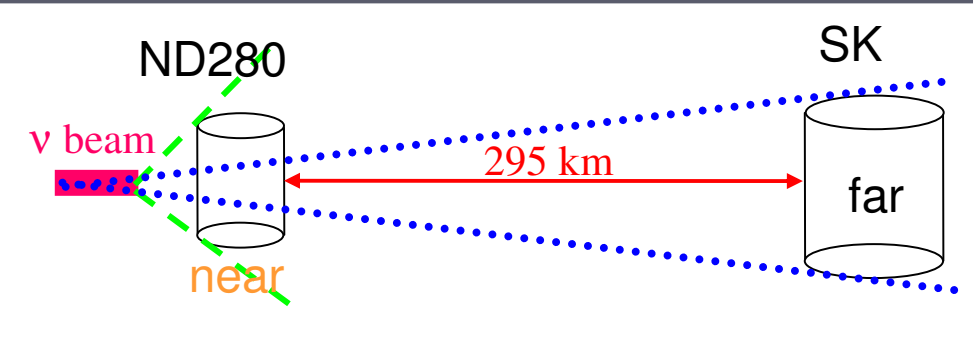
Bliski i daleki detektor widziane są pod różnymi kątami:

1. SK: źródło punktowe pod 2.5°
2. Bliski det: rozciągnięte źródło 1° to 3°

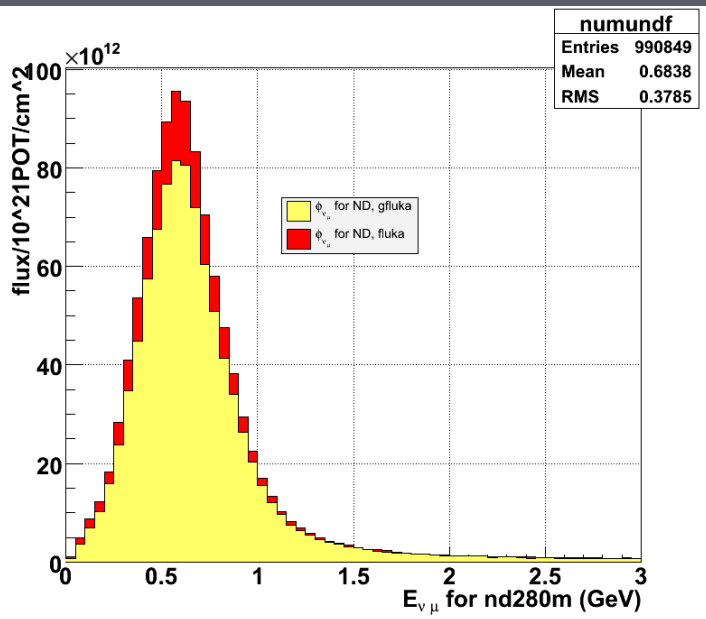
⇒ współ. $R=Far/Near$ zależy od energii neutrin

aby poprawnie przewidzieć strumień ν_{μ} ,
potrzebna jest znajomość produkcji
cząstek rodziców
(kinematyka procesów)

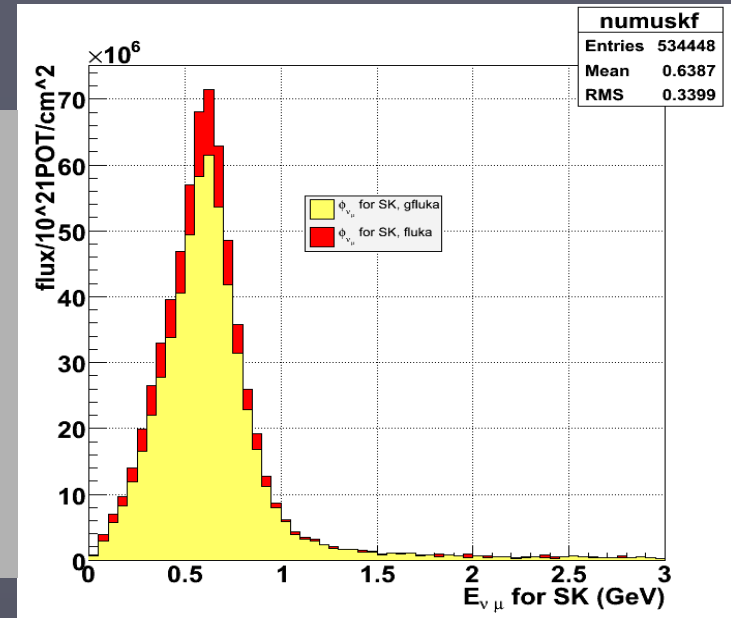
zamiast modeli hadronowych (Fluka et al.)
trzeba użyć zmierzonych przekrojów czynnych
dla pionów i kaonów



Strumień ν_μ w nd280 i Super Kamiokande - symulacje



Dwa modele hadronowe wykorzystane w symulacji „jnubeam” wiązki T2K : **gfluka**, **fluka**

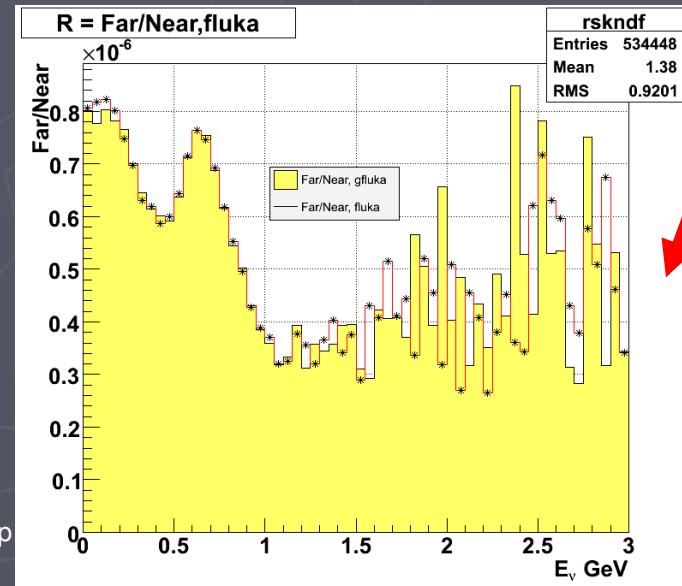


Różnice w produkcji hadronów z których powstaje wiązka T2K

Rejestrowany sygnał w Super Kamiokande

$$N_{sig}(E_\nu) = P_{osc} \cdot \Phi_\mu^{SK}(E_\nu) \cdot \sigma_{\nu\mu CC}(E_\nu) \cdot \epsilon_{SK}^{\nu\mu CC}(E_\nu)$$

$$= P_{osc} \cdot R_\mu \Phi_\mu^{ND}(E_\nu) \cdot \sigma_{\nu\mu CC}(E_\nu) \cdot \epsilon_{SK}^{\nu\mu CC}(E_\nu)$$



Sygnal dla oscylacji $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$

- ▶ T2K: $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ pomiar $\sin^2 2\theta_{13} \sim 0.006$ (90%CL)

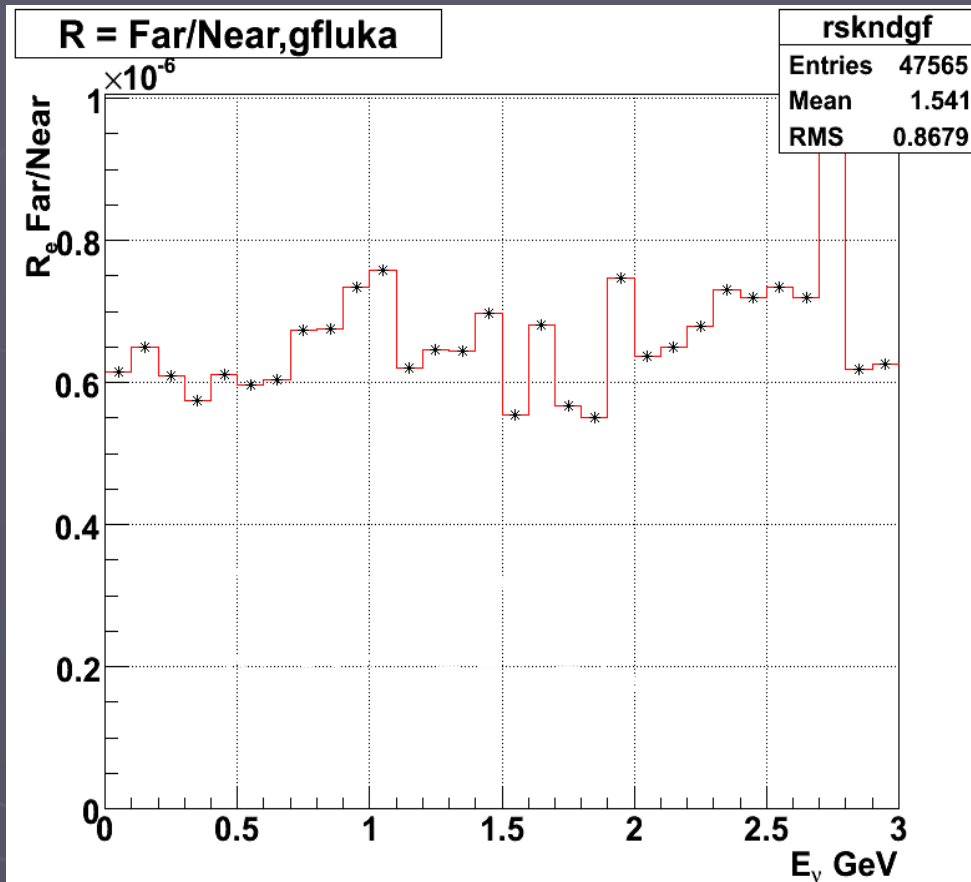
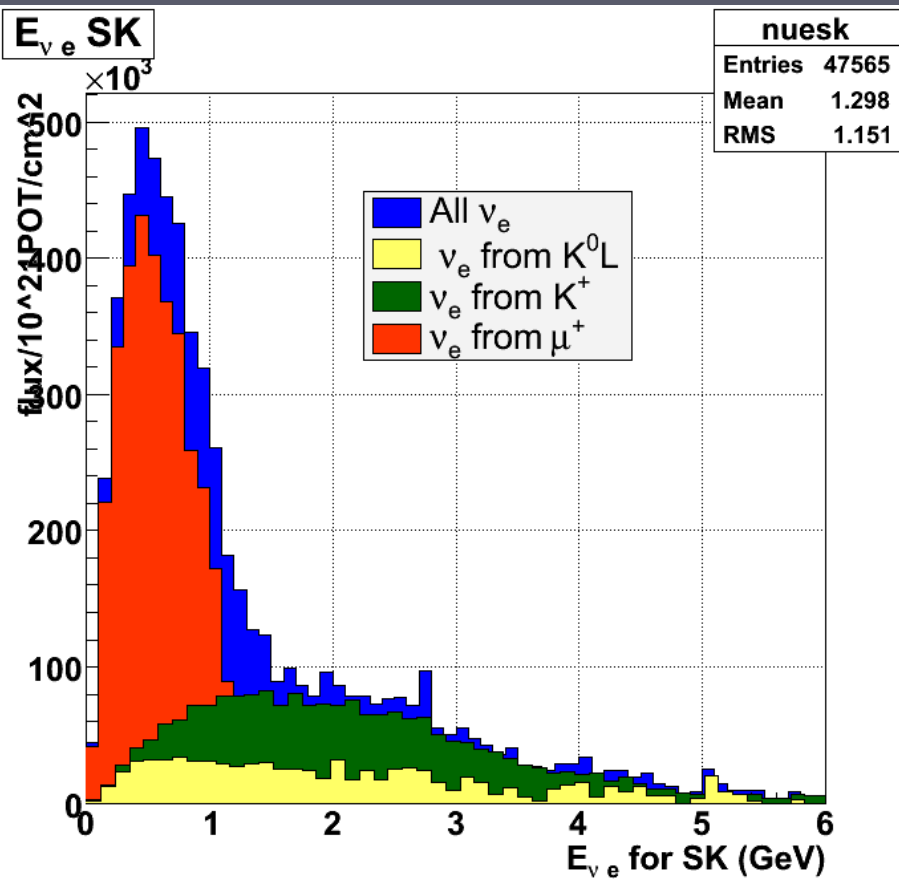
teraz $\sin^2 2\theta_{13} < 0.14$ (90%CL)

CHOOZ +atm, solar + KAMLAND

- ▶ Aby osiągnąć cel T2K błąd systematyczny na produkcję tła musi być $\delta N_{bg} < 10\%$
- ▶ Tło stanowią: produkcja π^0 powstałych z oddziaływania ν_μ :
 - ▶ $\nu_\mu + N = \nu_\mu + N + \pi^0$
- ▶ oraz zanieczyszczenie wiązki neutrinami elektronowymi (ν_e/ν_μ z MC jest na poziomie $\sim 0.5\%$)
 - ▶ $\nu_e + n = e^- + p$

Strumień ν_e oraz R_e

przewidywania, symulacje



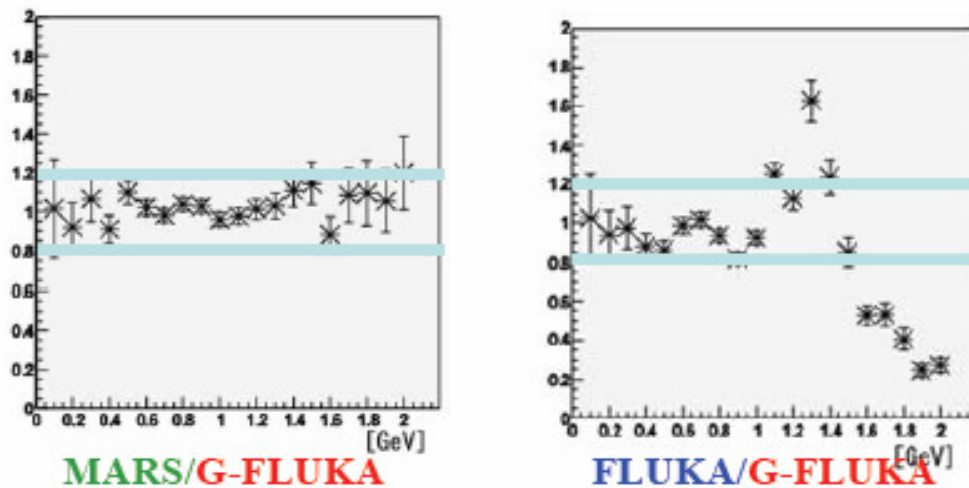
Takie ν_e będą stanowiły tło do poszukiwania sygnału oscylacji $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$

$R = \Phi_{Far}^{MC} / \Phi_{Near}^{MC}$

- zależność od modeli hadronowych

Ken Sakashita – współpraca T2K, NA61

Ratios of F/N ratios



Różnice pomiędzy modelami hadronowymi są rzędu

$$\delta R_{\nu_{\mu}} \sim 20\%$$

20% dla $E_{\nu} < 1 \text{ GeV}$



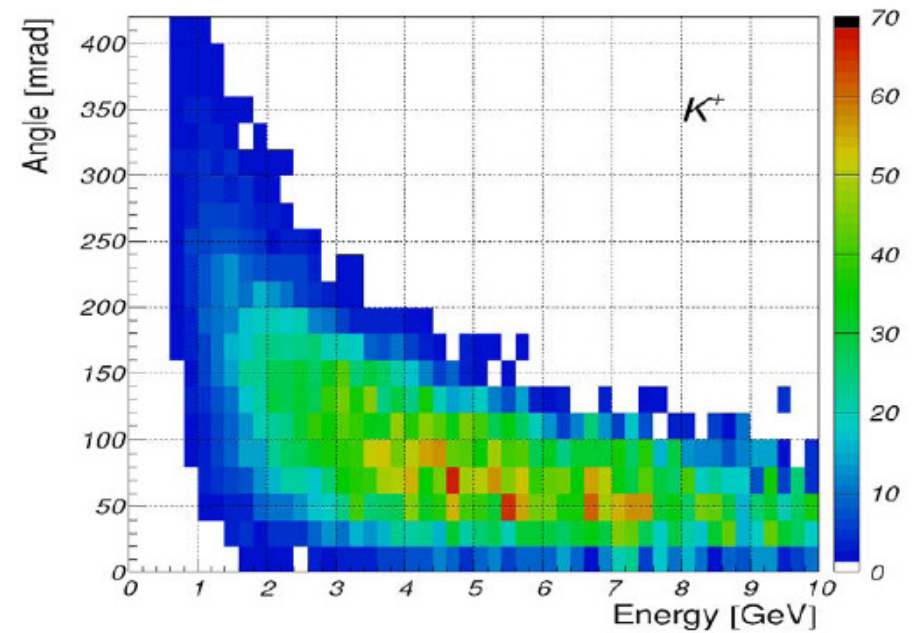
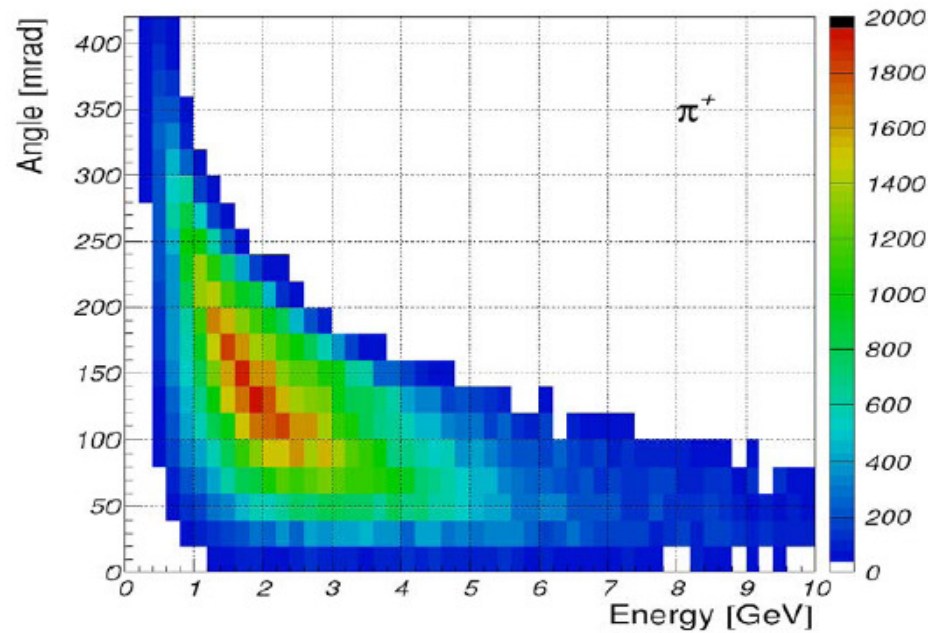
cel $\delta R_{\nu_{\mu}} < 3\%$

Potrzebne jest 200k zrekonstruowanych torów π^+ aby osiągnąć wspomniany cel.

Stosunek K/π powinny być zmierzony z dokładnością $\delta(K/\pi) < 10\%$

CERN-SPS-2007-019

Akceptacja dla T2K- symulacje

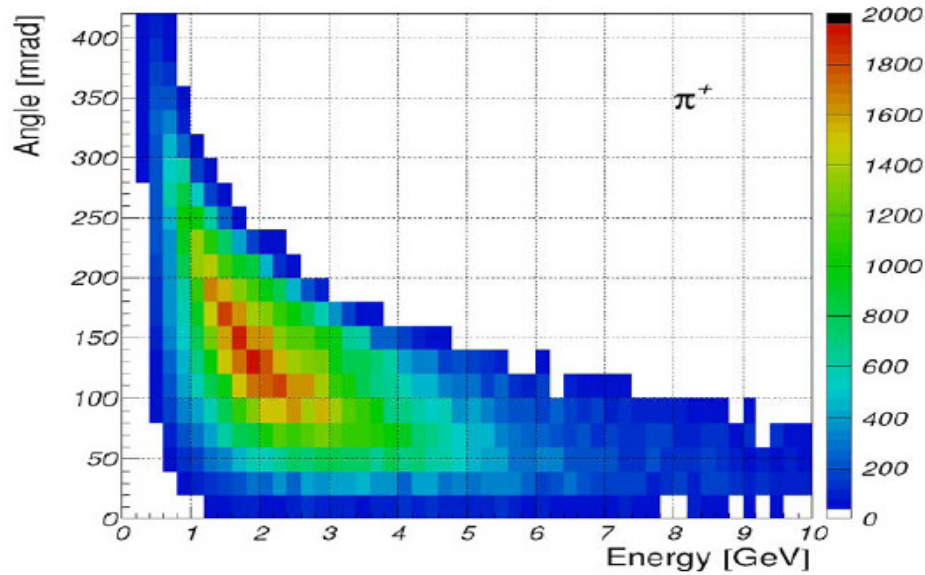


Piony oraz kaony, które w wyniku rozpadu produkują neutrino mionowe trafiające do detektora SK.

Symulacje „jnubeam” wiązki T2K.

T2K - fakty

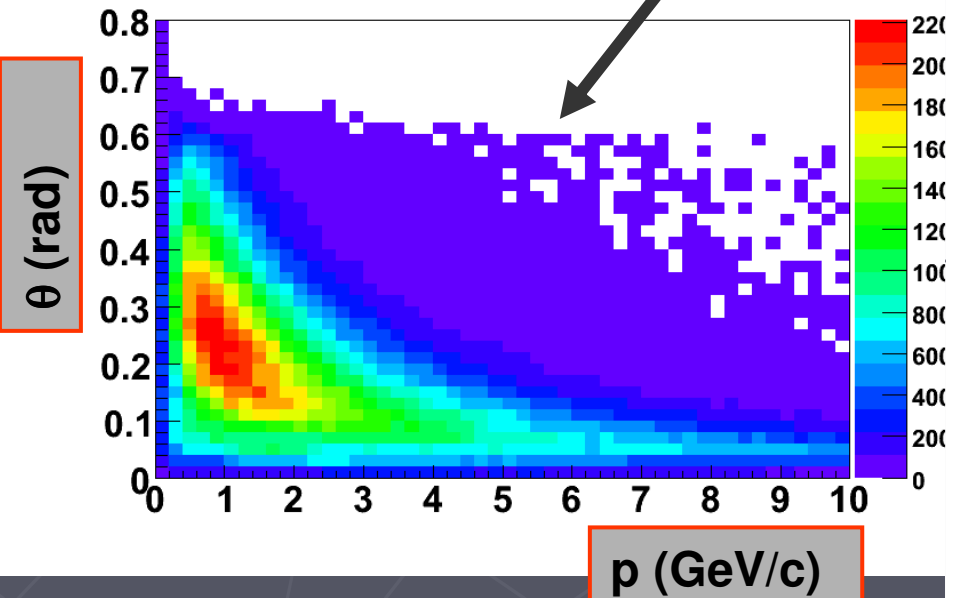
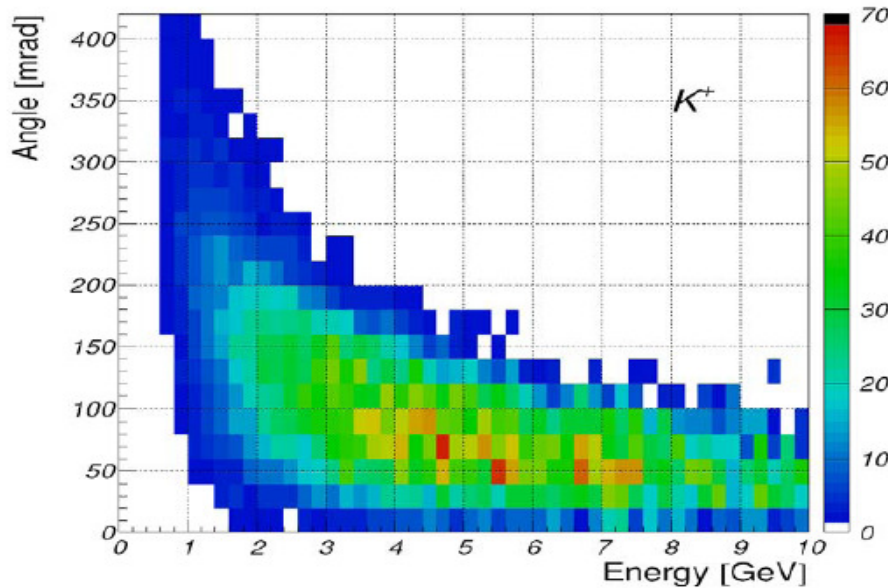
- nie ma precyzyjnych pomiarów produkcji cząstek na tarczy węglowej w przedziale 30-50 GeV energii padających protonów
- widmo neutrin dla bliskiego i dalekiego detektora nie jest identyczne, zależy od energii neutrin
- niepewności dla współczynnika $R=F/N$ są rzędu 20% (bazując tylko na podstawie modeli hadronowych z MC)
- nie ma pomiaru oddziaływań wtórnych hadronów dla wiązki T2K – wymagany pomiar odpowiednich przekrojów czynnych
- ważny pomiar π^+ dla zakresu pędów $1 < p < 6$ GeV/c, oraz kąta $\theta < 400$ mrad
- K^+ ważne -> stanowi tło dla badania powstałych w wyniku oscylacji ν_e



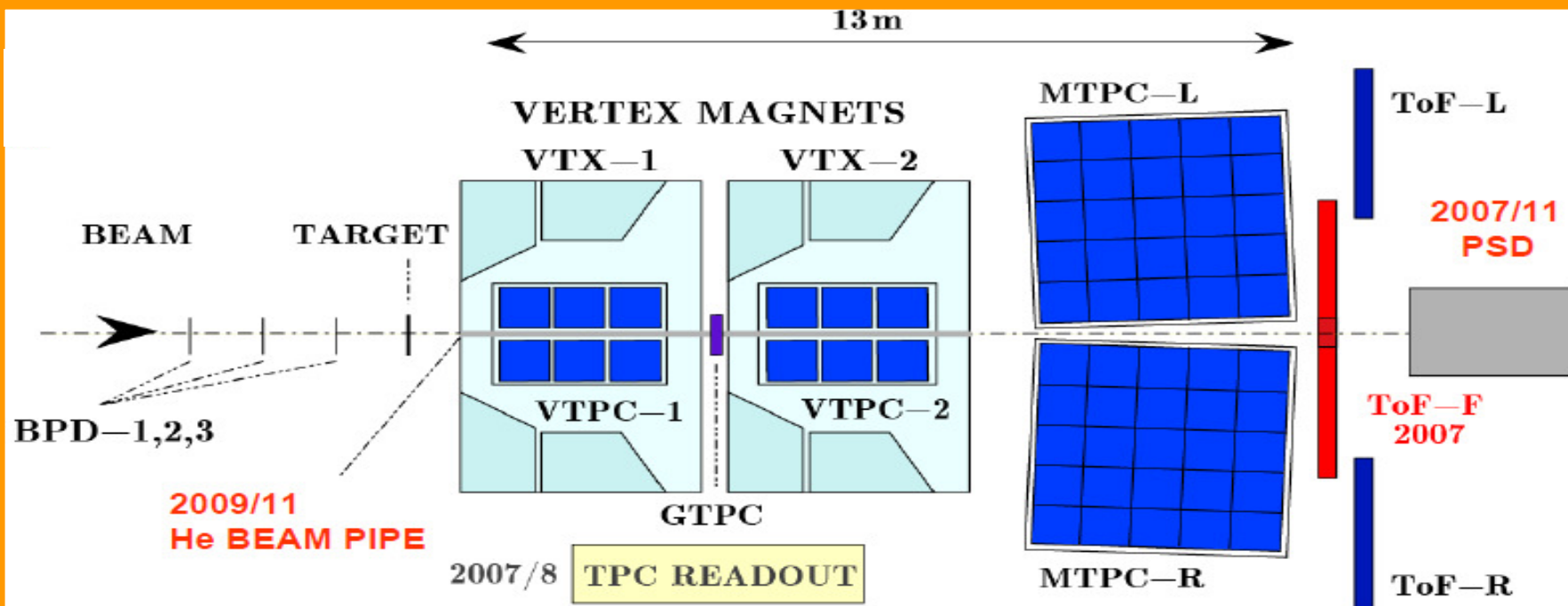
Akceptacja NA61 (SHINE) a potrzeby T2K

Dodatknie cząstki – dane NA61 zebrane w 2007 roku

JNUBEAM –symulacje wiązki neutrinowej T2K

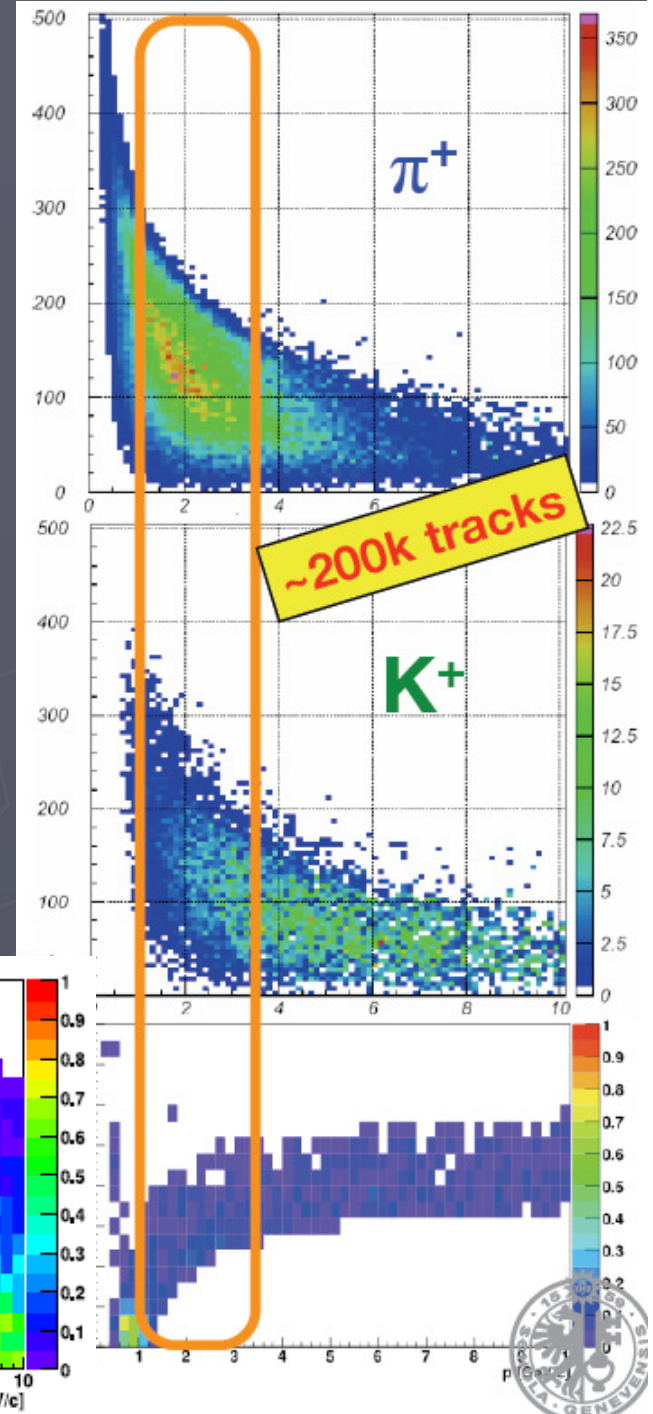
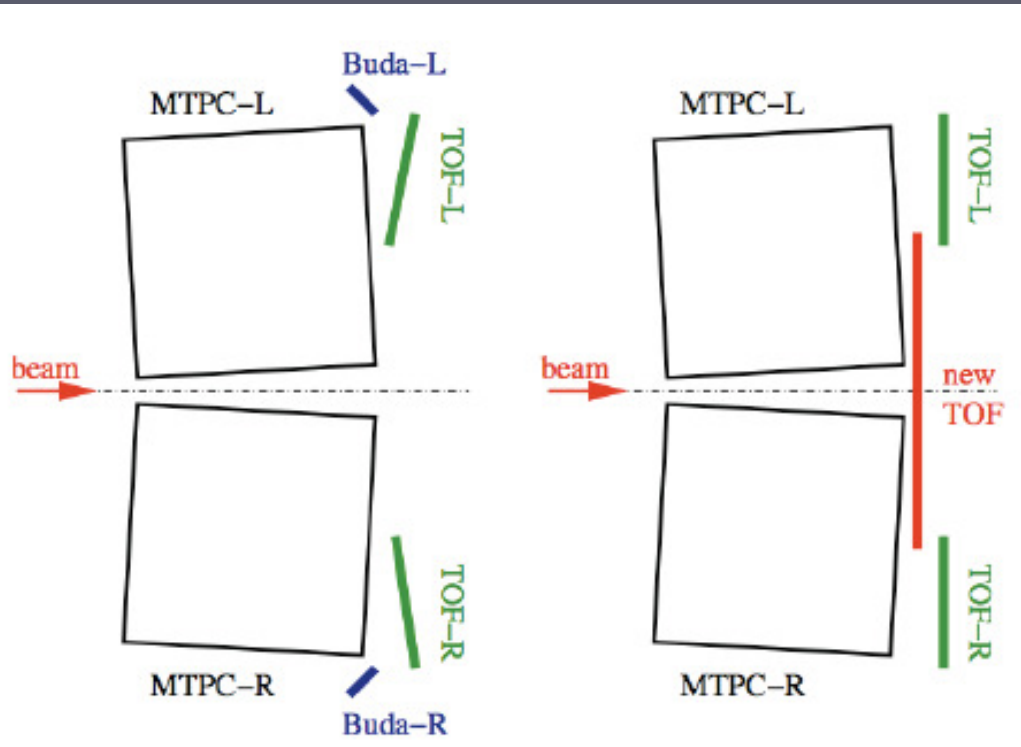


NA61 (SHINE)- detektor

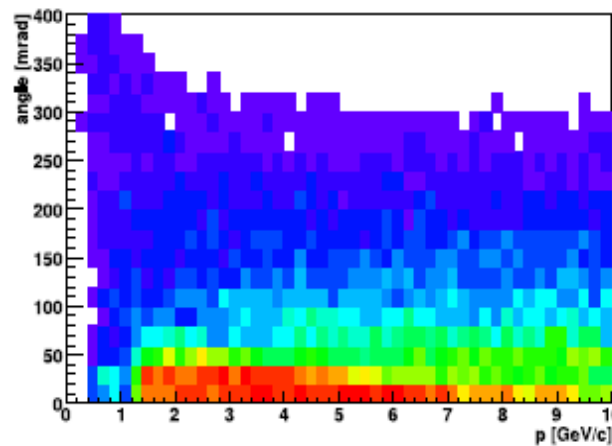
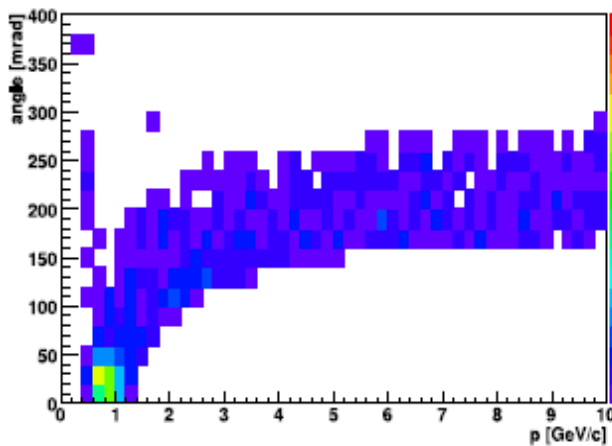


- Wielki spektrometr dla naładowanych cząstek
- TPCs główne elementy systemu rejestracji powstałych torów
- 2 dipole magnesy-z siłą zakrzywiania 9 Tm na 7m długości (2007 rok: 1.14Tm)
- Nowy detektor czasu przelotu ToF-F
- Zdolność rozdzielcza $\sigma/p^2 = 10^{-4} \text{ GeV}/c$
- Dobra zdolność identyfikacji cząstek (PID) : $\sigma(dE/dx)/\langle dE/dx \rangle = 0.04$
- Rozdzielczość detektorów czasu przelotu: $\sigma(\text{ToF-L/R}) = 60\text{ps}$, $\sigma(\text{ToF-F}) \leq 120\text{ps}$

Akceptacja detektorów czasu przelotu (ToF)



NuFact07, Aug.07-Okoyama, N. Abgrall



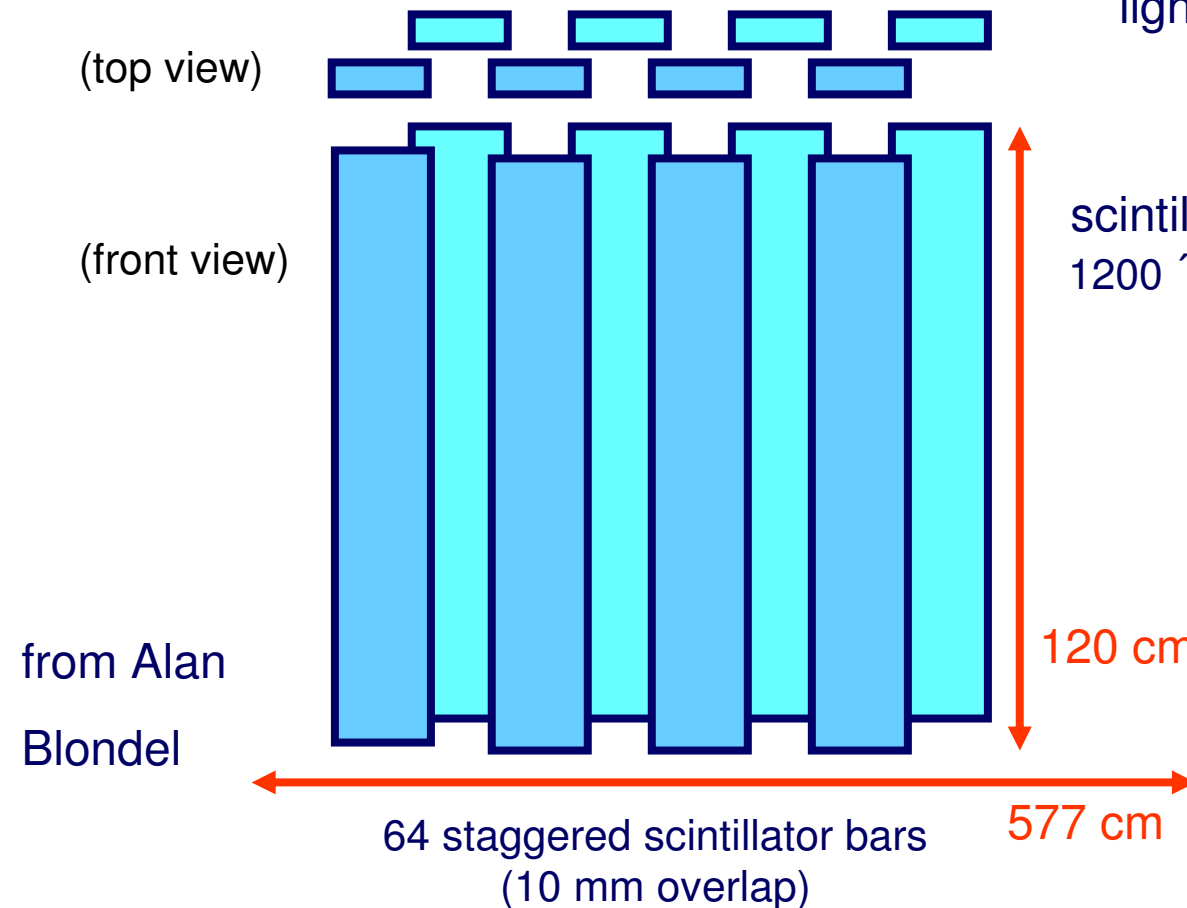
New ToF Wall for NA61

total area 577 ´ 120 cm²

$\sigma_{\tau} = 120 \text{ ps}$ (4σ K/pi @ 5 GeV)

64 scintillator bars read out on both sides

128 readout channels



single element

PMT R1828
51 mm \varnothing

light guide

scintillator BC-408
1200 ´ 100 ´ 25 mm³

Si cookie

PMT

15 cm

10 cm

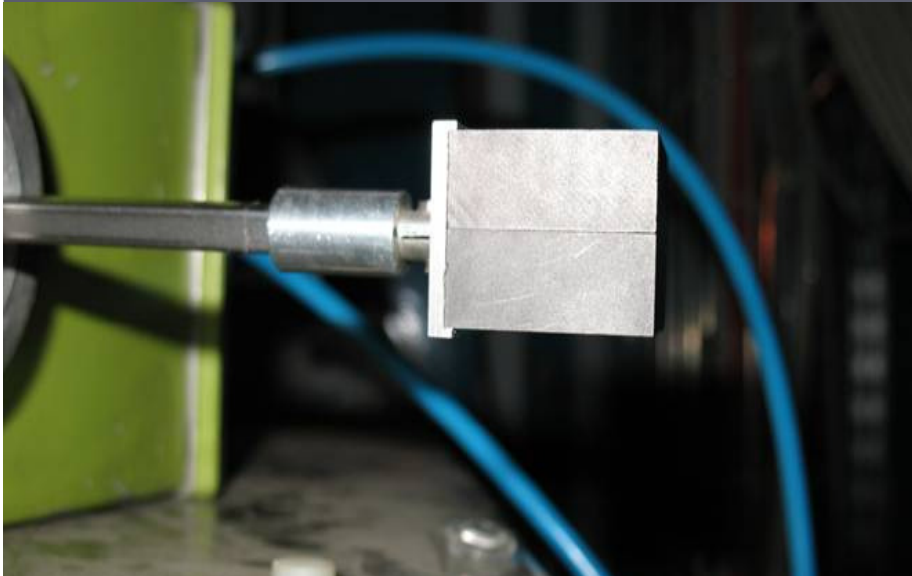
120 cm

8 scintillators mounted on a single frame → 8 ToF modules

Produkcja światłowodów IPJ



Użyte tarcze węglowe



Cienka węglowa tarcza

- 2cm dł., rozmiar 2.5x2.5
- $\rho=1.84 \text{ g/cm}^3$
- $\sim 0.04 \lambda_{\text{int}}$



Replika tarczy T2K

- dł. 90 cm, $\phi=2.6 \text{ cm}$
- $\rho=1.83 \text{ g/cm}^3$
- $\sim 1.9 \lambda_{\text{int}}$

W 2007 roku dane dla T2K oraz CR były zbierane przez 2 tygodnie.

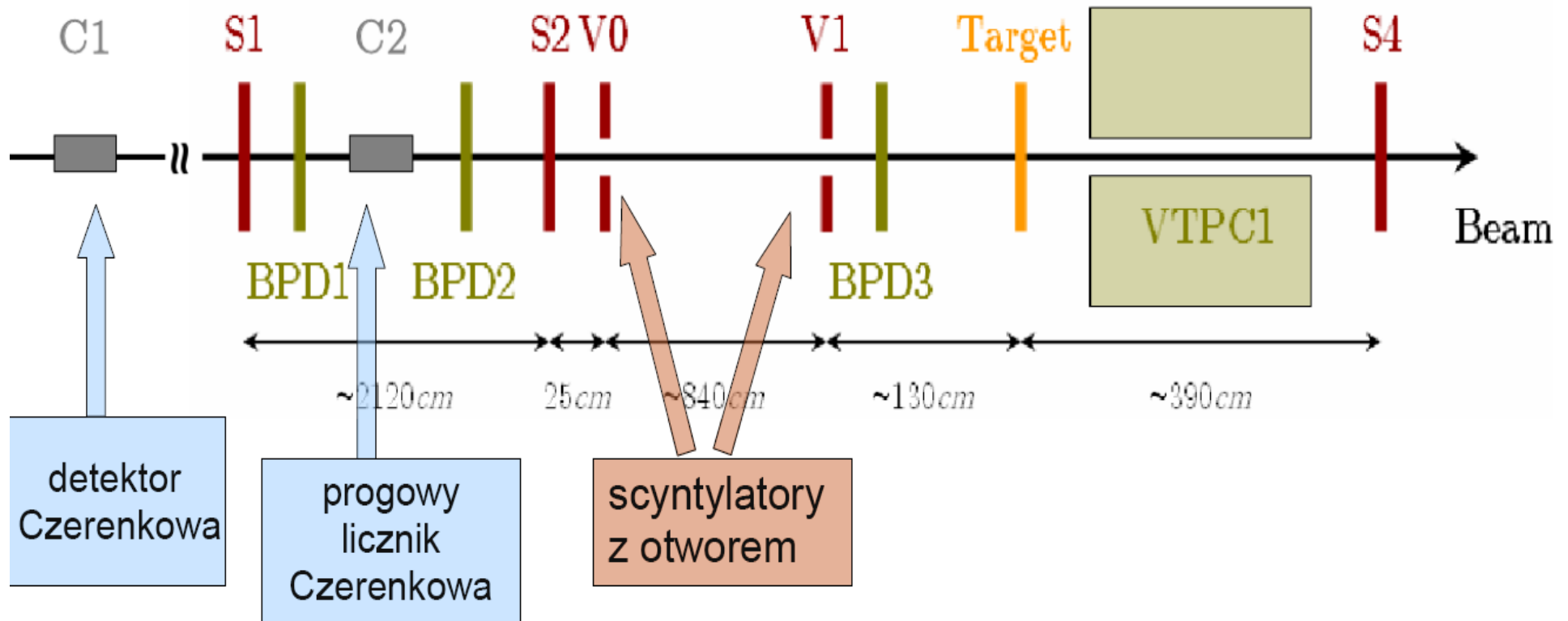
Cienka tarcza: ~670k triggers Replika tarczy T2K: ~230k triggers

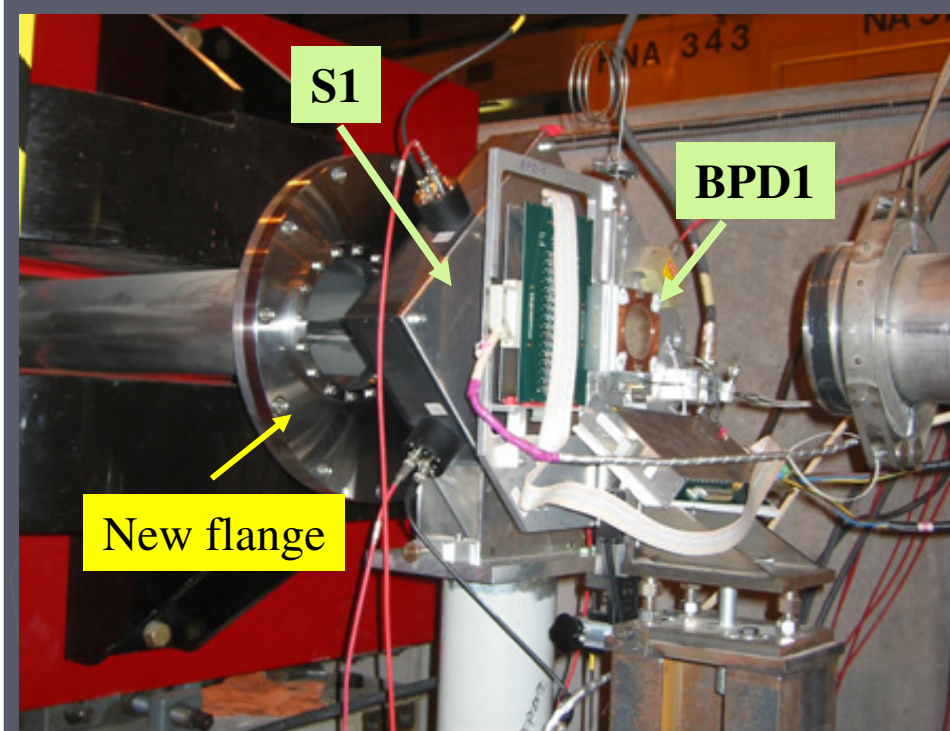
bez tarczy: ~80k triggers

Wyzwalanie sygnału -trigger

Definicja wiązki = $S1 \&\& S2 \&\& \overline{V1} \&\& \overline{V2} \&\& C1 \&\& \overline{C2}$

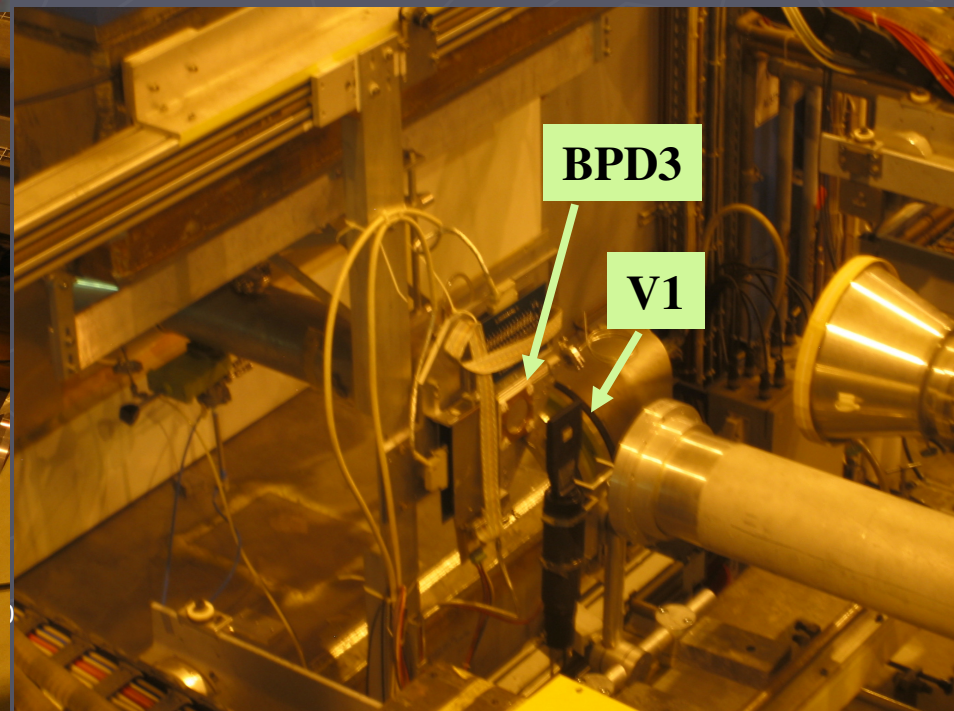
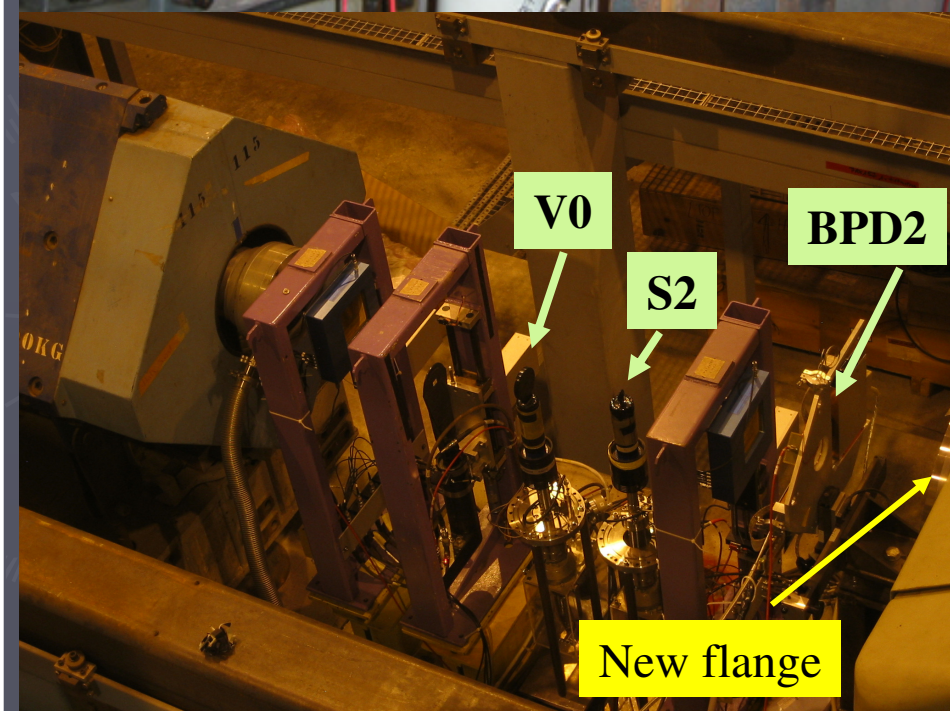
Oddziaływanie = wiązka * $\overline{S4}$





Instalacja detektorów wyzwalania sygnału

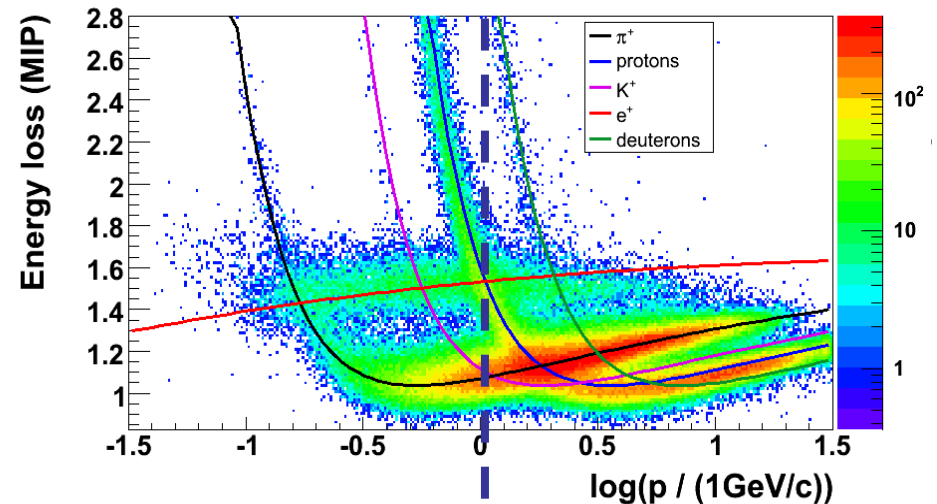
A. Marchionni, Zebranie
współpracy NA61 (SHINE)



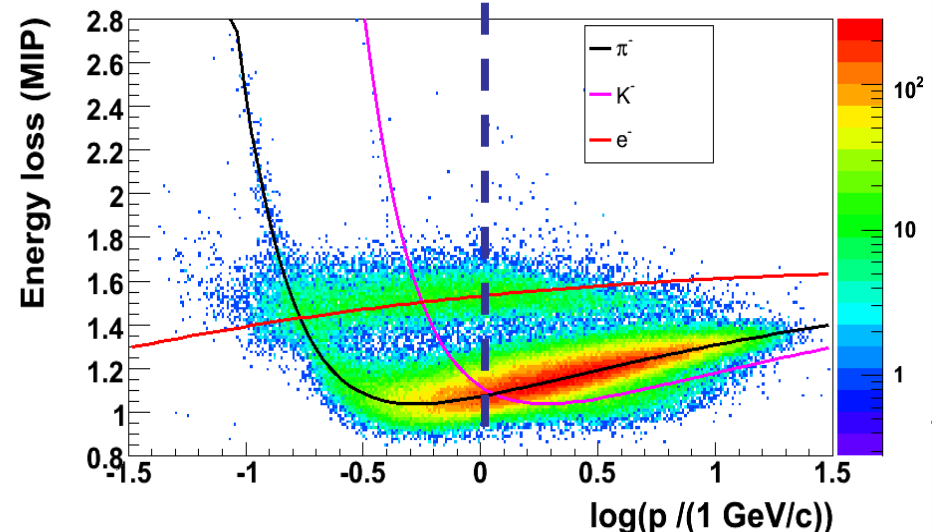
Identyfikacja cząstek - strategia (I)

- **Pomiar strat energii:**
 - poniżej 1 GeV/c dedykowana analiza strat energii dE/dx
 - obszar pędu od 1 do 4 GeV/c-krzywe Bethe-Bloch'a przekrywają się identyfikacja niewiarygodna
 - powyżej 4 GeV/c analiza dE/dx

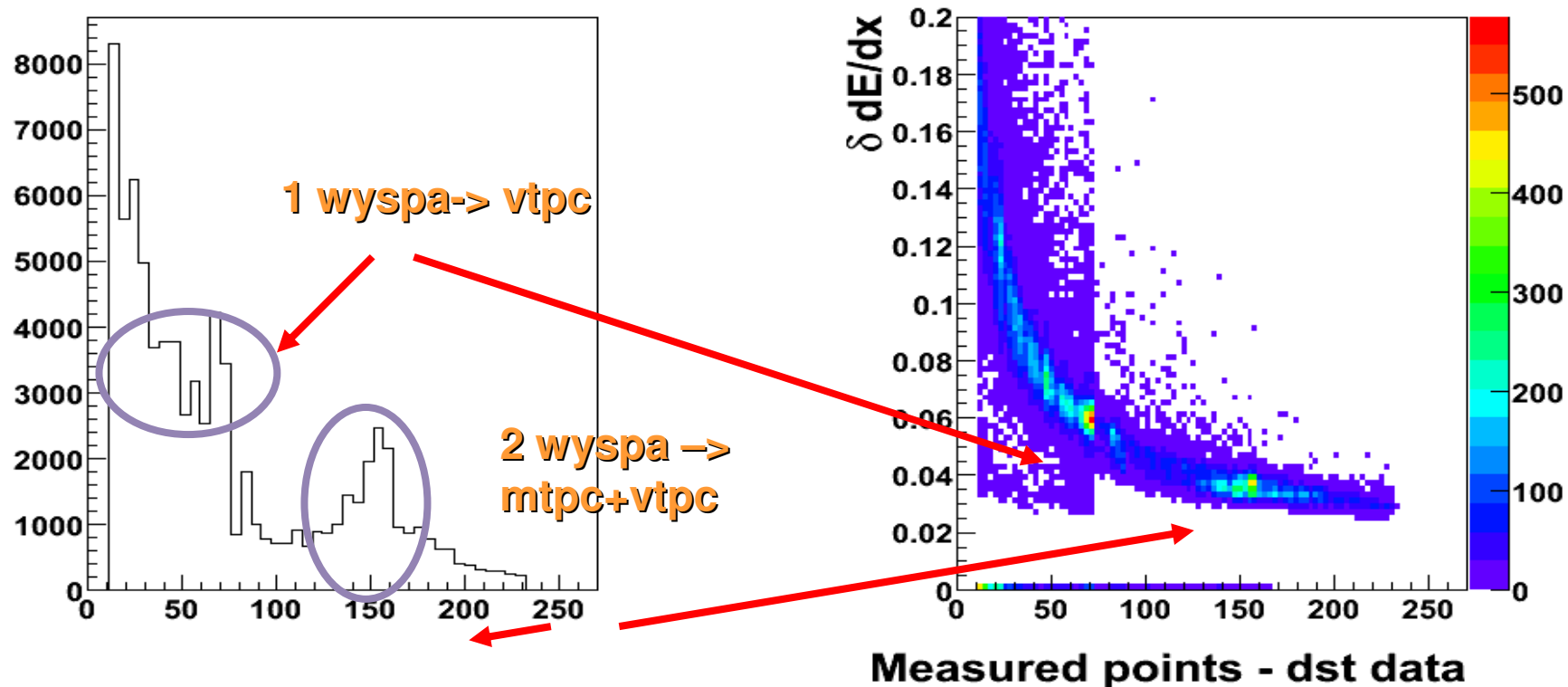
Positive particles



Negative particles



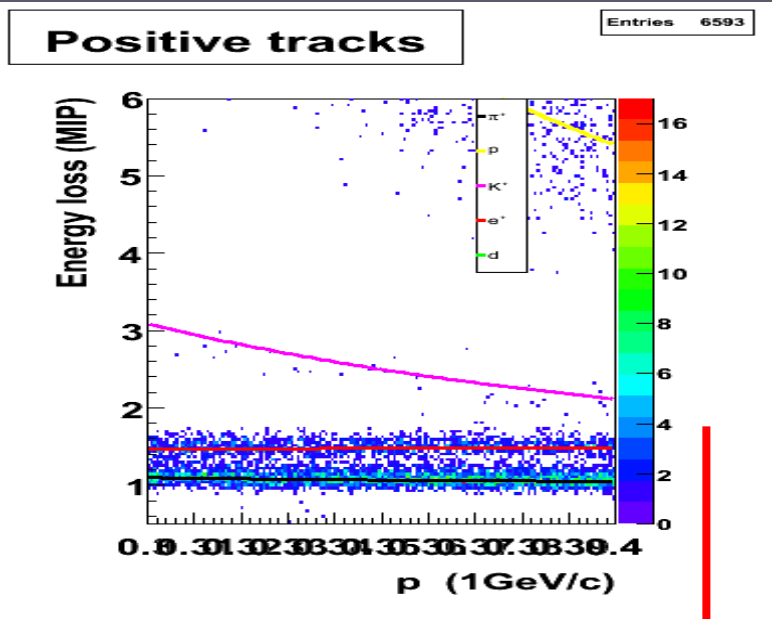
Jak błąd na straty energii zależy od liczby mierzonych punktów (N) na torze (1) ?



Zdolność rozdzielcza dE/dx jest na poziomie 4-5% dla torów przechodzących przez obie komory VTPC oraz MTPC.

Do analizy wybrano tory z liczbą punktów mierzonych $N > 30$

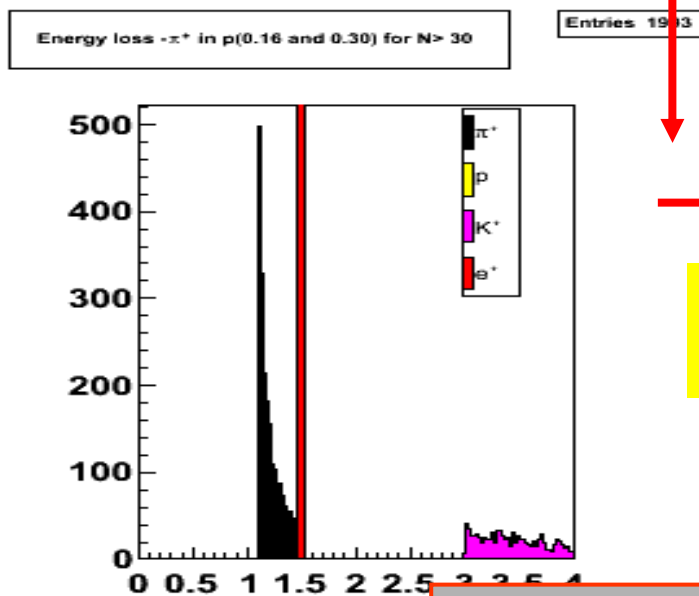
Opis metody identyfikacji cząstek (1)



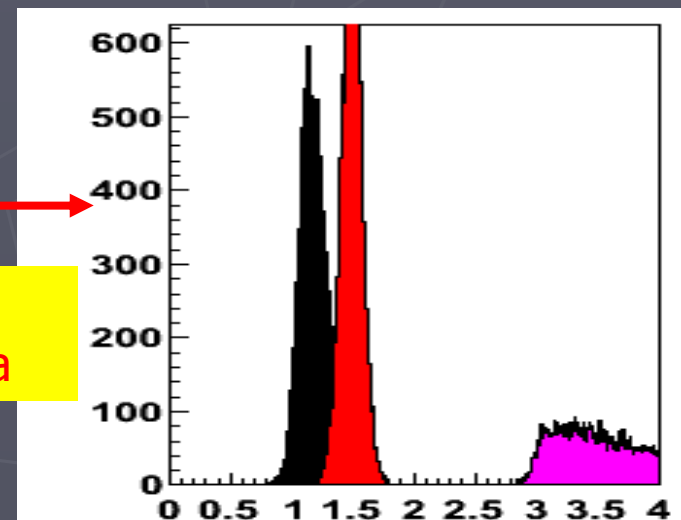
Wykorzystując znajomość pędu dla każdego toru wyliczono teoretyczne wartości funkcji Bethe-Blocha (dE/dx_{theor}) dla każdej z hipotezy cząstki π , K , p , e .

Teoretyczne rozkłady start energii zostały rozmyte funkcją Gaussa stosując poniższe wielkości:

- Średnia = dE/dx_{theor} wyliczona dla każdego toru
- Sigma = $\delta_{\text{data}} * (dE/dx_{\text{theor}}/dE/dx_{\text{data}})$ dla każdego toru



dE/dx (mip)



dE/dx (mip)

po rozmyciu
funkcją Gaussa

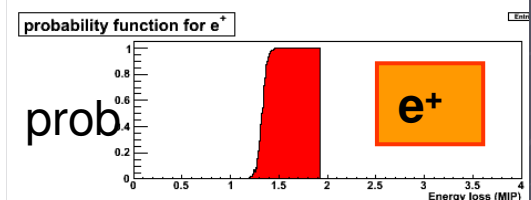
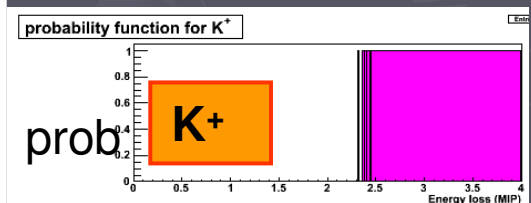
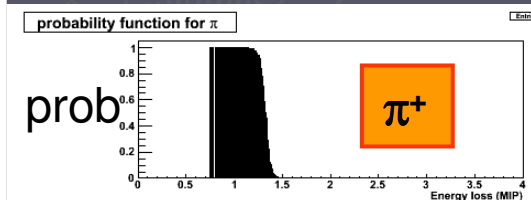
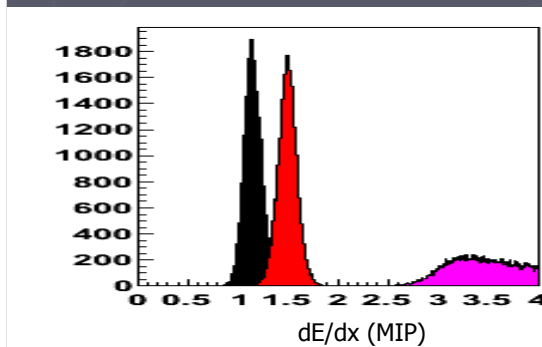
12.11.2009 magdap

30

Prawdopodobieństwo identyfikacji danej cząstki

Prawdopodobieństwo identyfikacji danej cząstki:

Przykładowy obrazek dla pędu $p=(0.2-0.3)$ GeV/c jest po lewej. Kolory przedstawiają dE/dx_{theor} π^+ (czarny), e^+ (czerwony), K^+ (fioletowy)



Dla każdego binu dE/dx „i” przy założeniu danej hipotezy cząstki wyliczono jej prawdopodobieństwo. Np. dla π^+ użyto wzór:

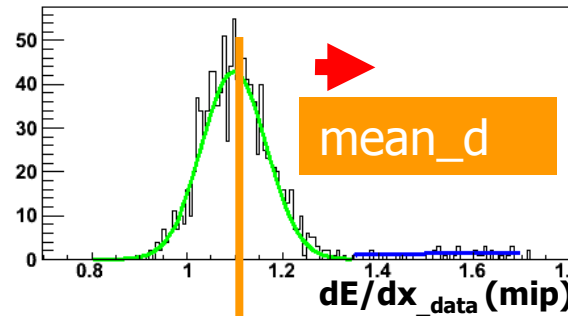
$$prob^i_{\pi} = \frac{N_{\pi}^i}{N_{\pi}^i + N_{K}^i + N_{e}^i + N_p^i}$$

Graficzna ilustracja prawdopodobieństwa danej cząstki: Bin $p=(0.2-0.3)$ GeV/c poniżej 4 (MIP) widoczny jest wkład tylko od π^+ , K^+ , e^+

Wybieram biny dE/dx gdzie $p \geq 95\%$. Liczbę pionów w tym binie mnożę przez wartość prawdopodobieństwa identyfikacji pionu w tym binie dE/dx .

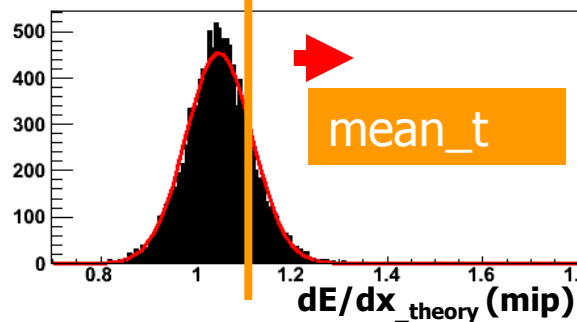
Zależność strat energii od kąta produkcji θ

dE/dx_{data} in p(0.70 and 0.80) in θ (300.00 and 360.00)



mean_d

$dE/dx_{theor} - \pi^+$ in p(0.70 and 0.80) in θ (300.00 and 360.00)

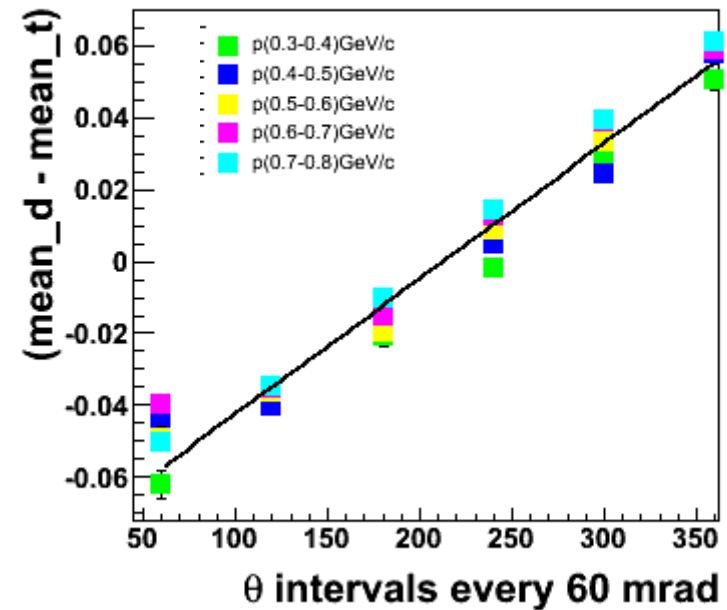


mean_t

W każdym binie(p, θ)
(przykład dla
 $p=(0.7-0.8)$ GeV/c oraz
 $\theta=(300-360)$
mrad):
Fit funkcji Gaussa do
rozkładów danych
oraz
teoretycznych
 dE/dx .

Wyliczenie
przesunięcia (δ)
 $\delta = \text{mean}_d - \text{mean}_t$.

π^+



$$a_{\pi^+} = (42 \pm 1) \cdot 10^{-5} \text{ (mip/mrad);}$$

$$b_{\pi^+} = -(81 \pm 2) \cdot 10^{-3} \text{ (mip);}$$

$$\delta = \theta \cdot a + b;$$

$$dedx = dedx_{old} - dedx_{old} \cdot \delta;$$

$$a_{\pi^-} = (31 \pm 4) \cdot 10^{-5} \text{ (mip/mrad)}$$

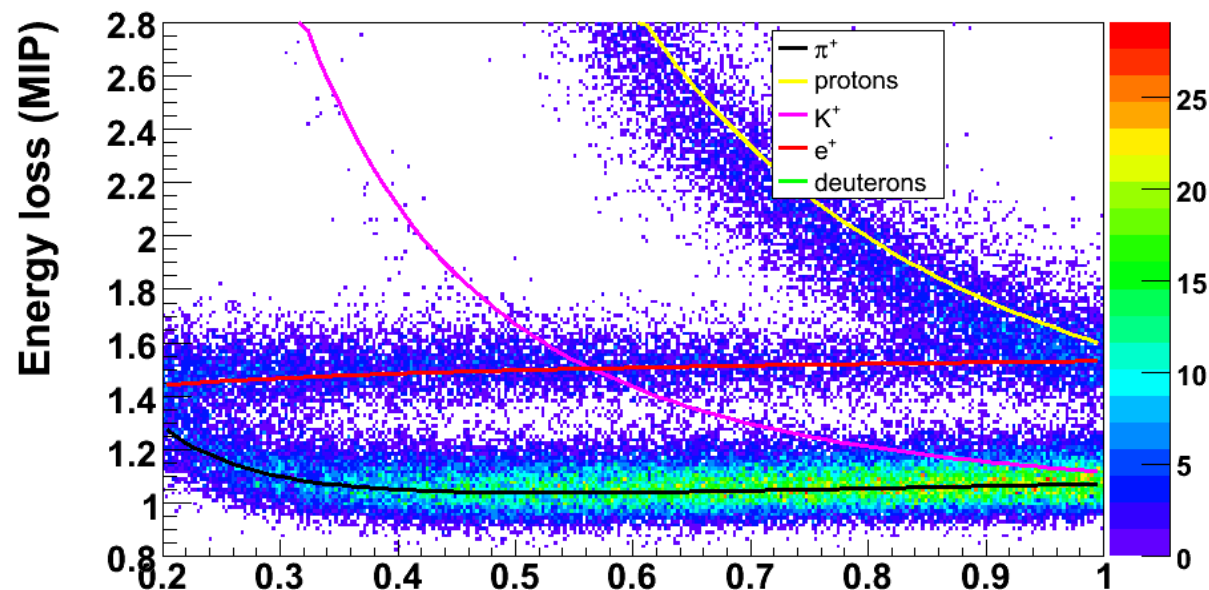
$$b_{\pi^-} = -(64 \pm 1) \cdot 10^{-3} \text{ (mip)}$$

$$\delta = \theta \cdot a + b;$$

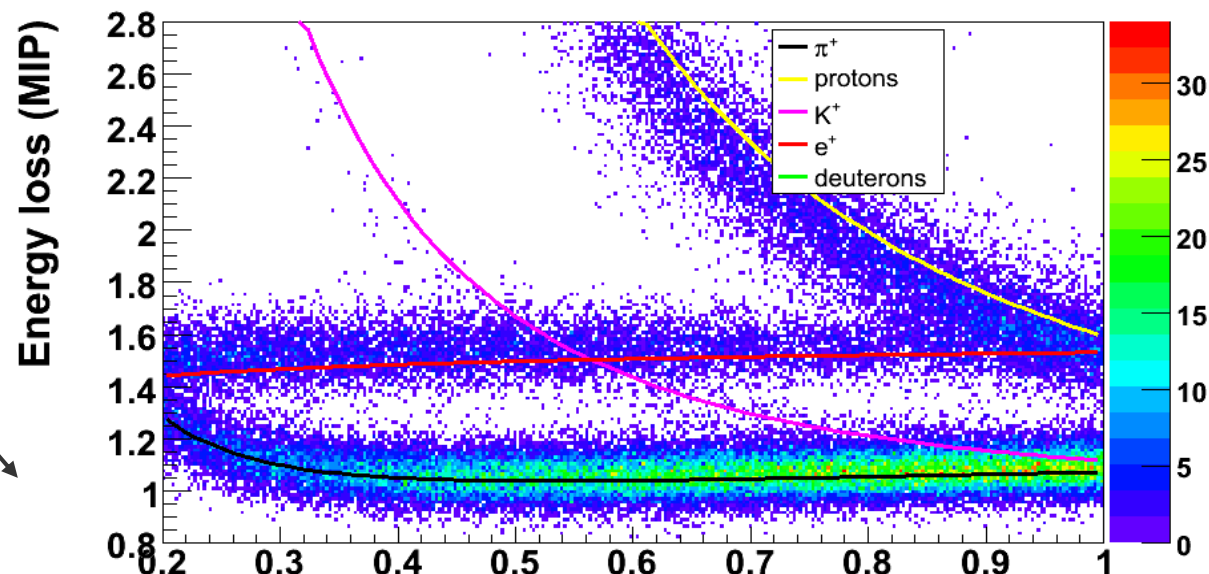
$$dedx = dedx_{old} - dedx_{old} \cdot \delta;$$

► dodatnie
cząstki-
poprawione
straty energii
dE/dx na
zależność od
kąta
produkcji

Positive particles



Positive particles

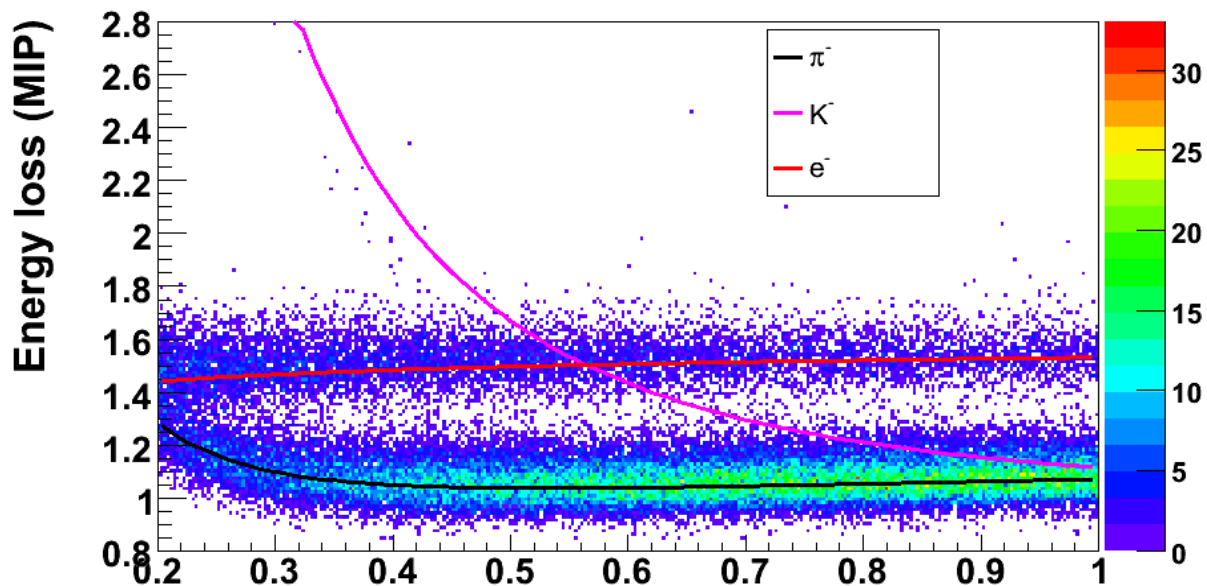


corrected

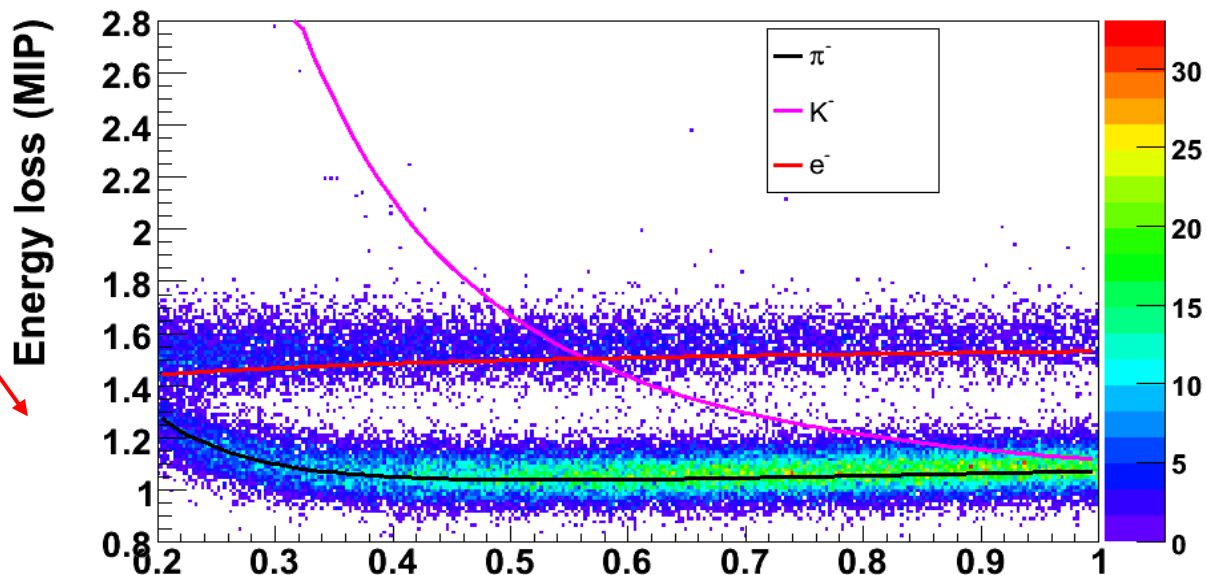
p (GeV/c)

- ▶ ujemne cząstki-
poprawione
straty energii
 dE/dx na
zależność od
kąta
produkcji

Negative particles



Negative particles

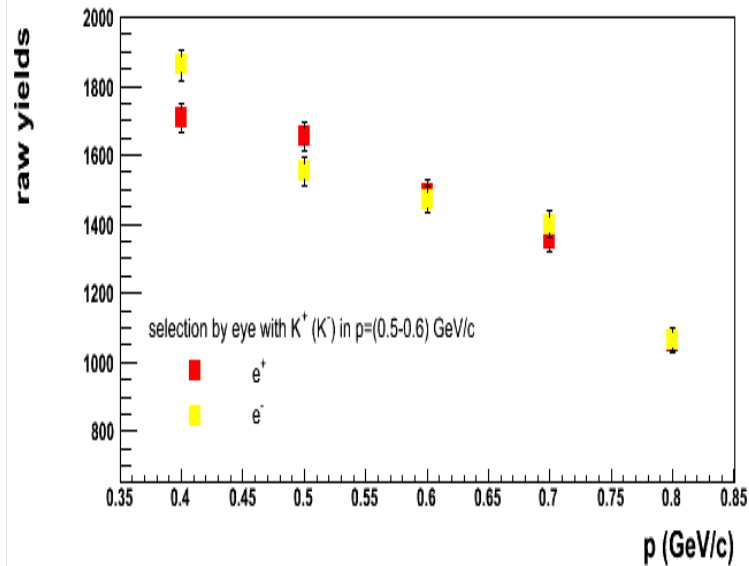


corrected

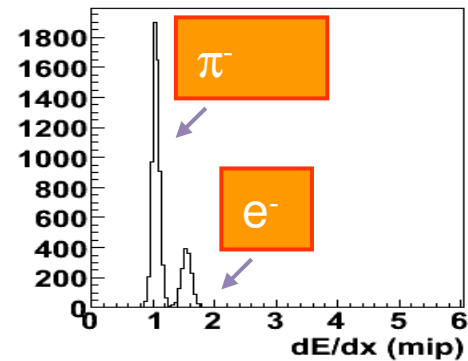
p (GeV/c)

Pozytony versus elektrony

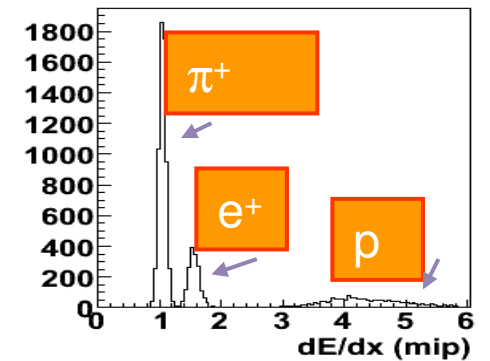
Dla poprawionych strat energii dE/dx wyliczono liczby pozytonów oraz elektronów.



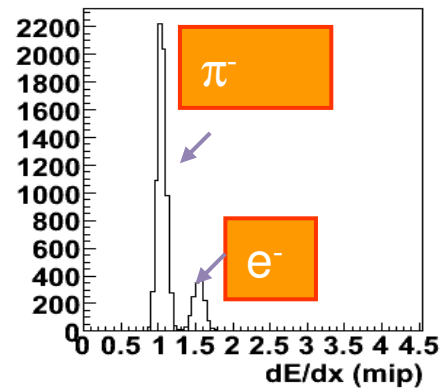
Negative particles with $p=[0.40,0.50]$ GeV/c



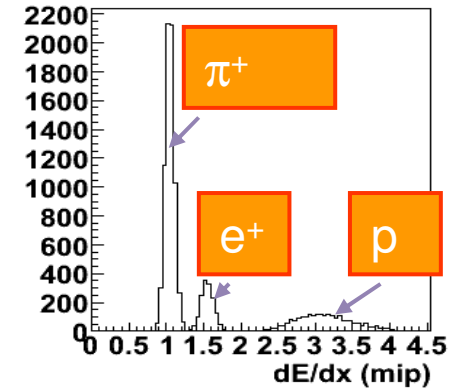
Positive particles with $p=[0.40,0.50]$ GeV/c



Negative particles with $p=[0.50,0.60]$ GeV/c



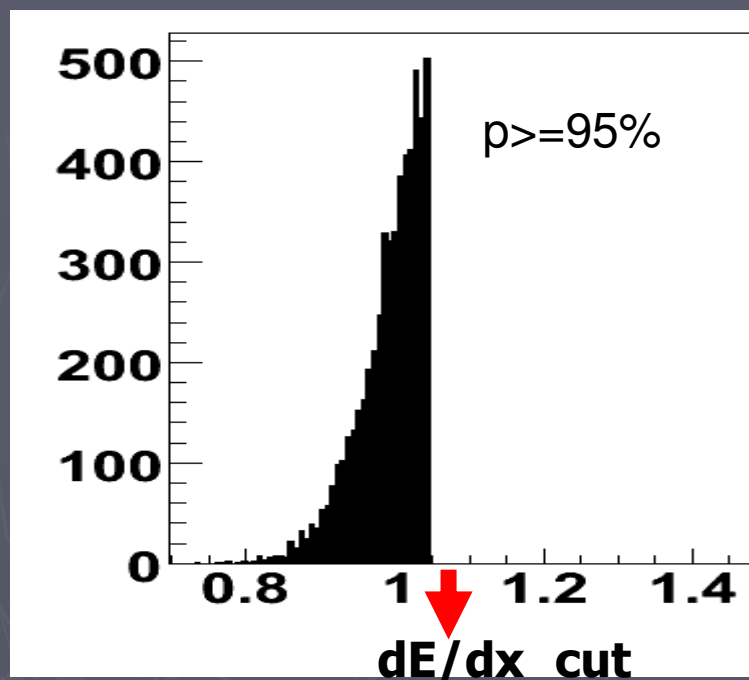
Positive particles with $p=[0.50,0.60]$ GeV/c



Od $p > 0.5$ GeV/c liczba pozytonów oraz elektronów jest sobie równa.

Główne źródło e^+ , e^- to rozpady mezonu π^0

Opis metody identyfikacji cząstek (2)



Teoretyczny rozkład dE/dx dla dodatnich pionów, dla których spełniony jest warunek $p \geq 95\%$

W każdym binie(p, θ)

(przykład dla $p=(0.7-0.8)$ GeV/c oraz $\theta(300-360)$ mrad):

- 1) uwzględniam tory w takim przedziale dE/dx , w którym spełniony jest warunek $p \geq 95\%$
- 2) poprawiam na przedziały nie spełniające warunku $p \geq 95\%$
- 3) stosuję poprawkę kątową

Opisana metoda została użyta do otrzymania zidentyfikowanych widm dodatnich oraz ujemnych pionów w przestrzeni (p, θ).

Poprawki detektorowe - symulacje

- ▶ Widma pionów zostały poprawione również na akceptacje geometryczna detektora NA61 (SHINE), wydajność programów rekonstrukcji, rozmycie kinematyczne oraz poprawność rekonstrukcji torów do głównego wierzchołka.
- ▶ Poprawki wyliczono wykorzystując pakiet symulacyjny detektora NA61 (GEANT3 wraz z generatorami VENUS oraz GHEISHA)
- ▶ Macierz poprawek $C^{-1}(p, \theta)$ została zdefiniowana następująco:

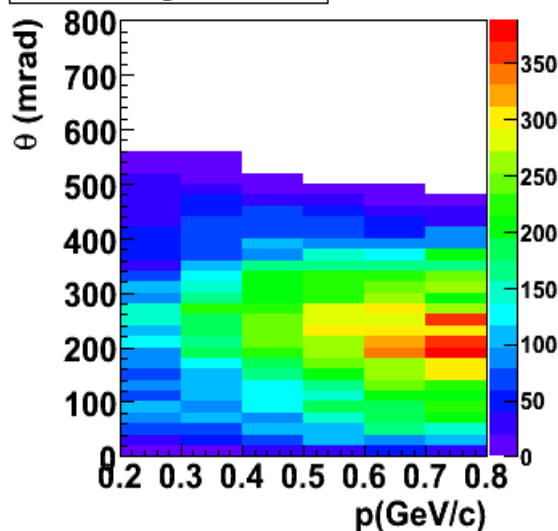
$$C^{-1}(p, \theta) = \frac{\text{zrekonstruowane } \pi \text{ do pierwotnego wierzchołka } (p, \theta)}{\text{wszystkie wygenerowane } \pi \text{ z pierwotnego wierzchołka } (p, \theta)}$$

- ▶ Ostateczne wyniki poprawionych widm pionów otrzymałam stosując poniższą formułę:

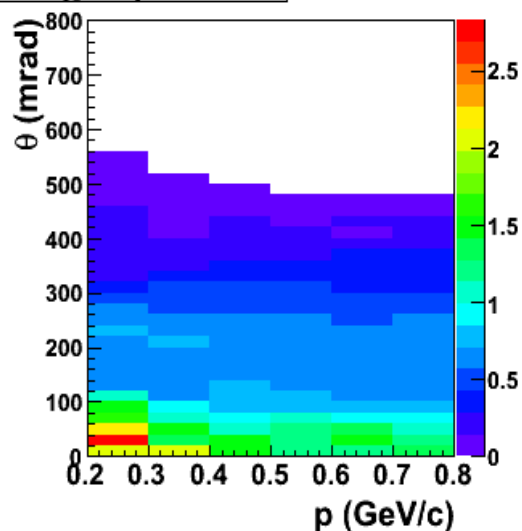
$$\text{poprawione widma } \pi(p, \theta) = \frac{\text{zidentyfikowane widma } \pi \text{ w przestrzeni } (p, \theta)}{C^{-1}(p, \theta)}$$

Widma pionów w przestrzeni (p, θ)

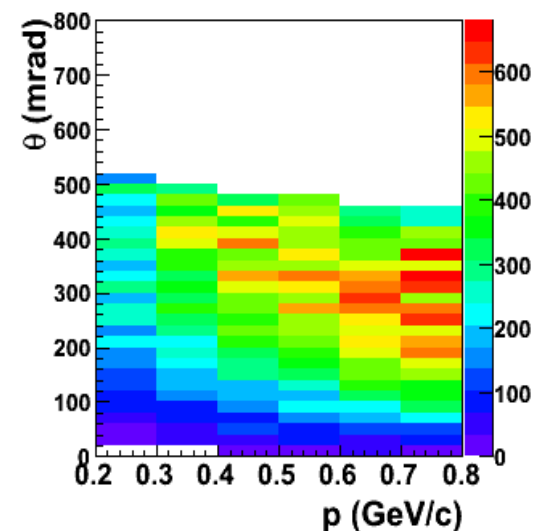
raw π^- yields



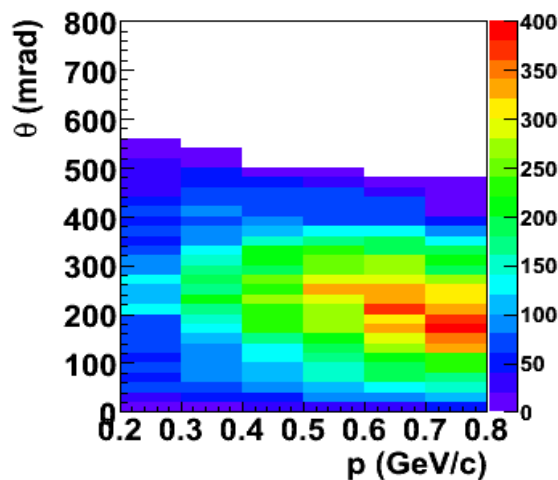
$C^{-1}(p, \theta)$ for π^-



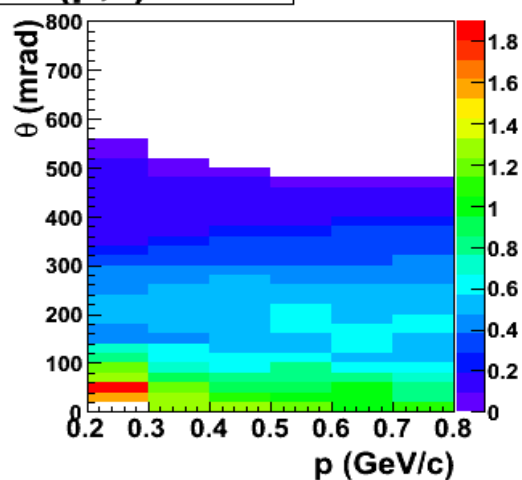
corrected π^- yields



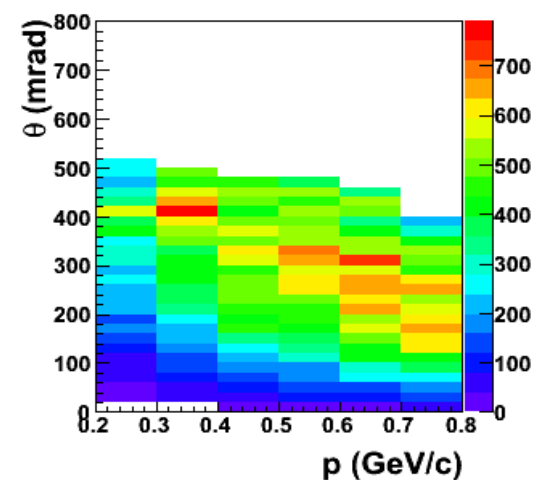
raw π^+ yields



$C^{-1}(p, \theta)$ for π^+



corrected π^+ yields

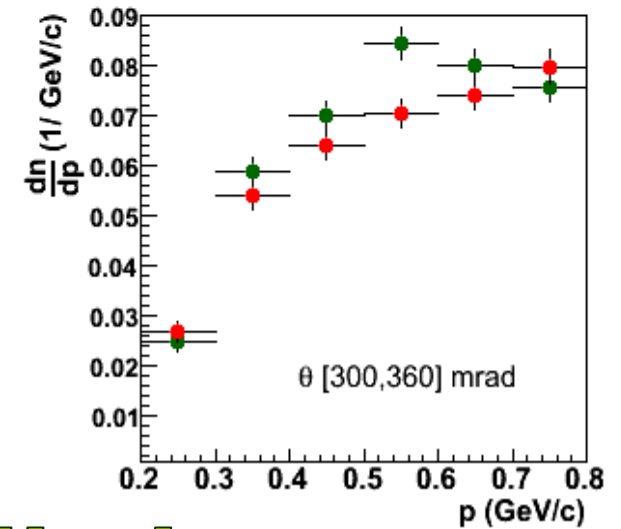
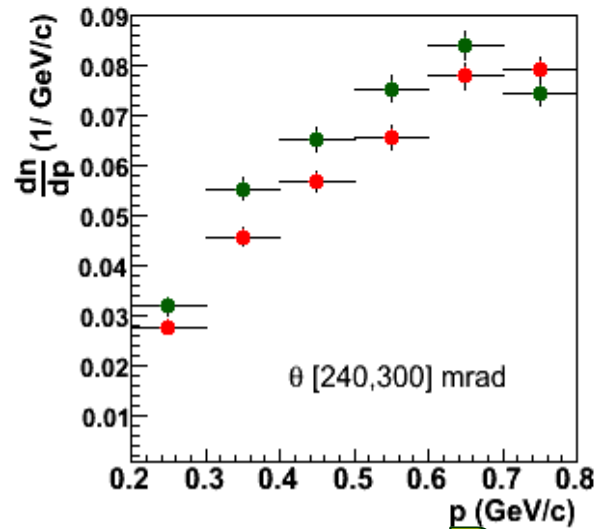
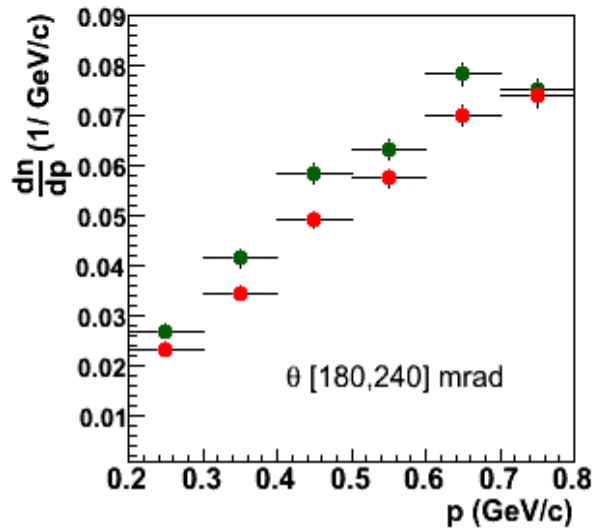
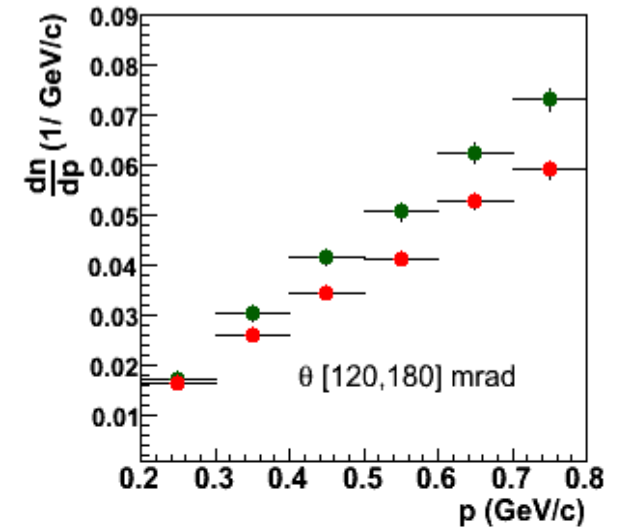
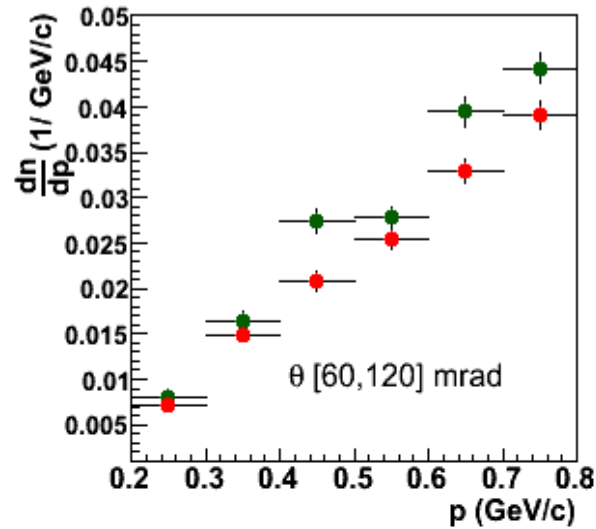
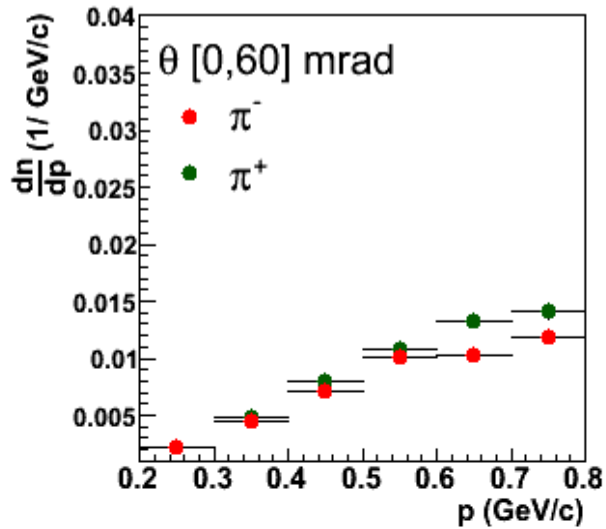


Widma cząstek powstałych w wyniku oddziaływań 30 GeV protonów z cienką węglową tarczą

na podstawie danych zebranych podczas naświetlań cienkiej tarczy grafitowej w 2007 roku

Wyniki prezentowałam w imieniu współpracy NA61 (SHINE) na :
XXXIX International Symposium on Multiparticle Dynamics,
4-9 September 2009, Homel, Białoruś

π^+ oraz π^- – wyniki z analizy dE/dx dla cząstek poniżej 1 GeV/c

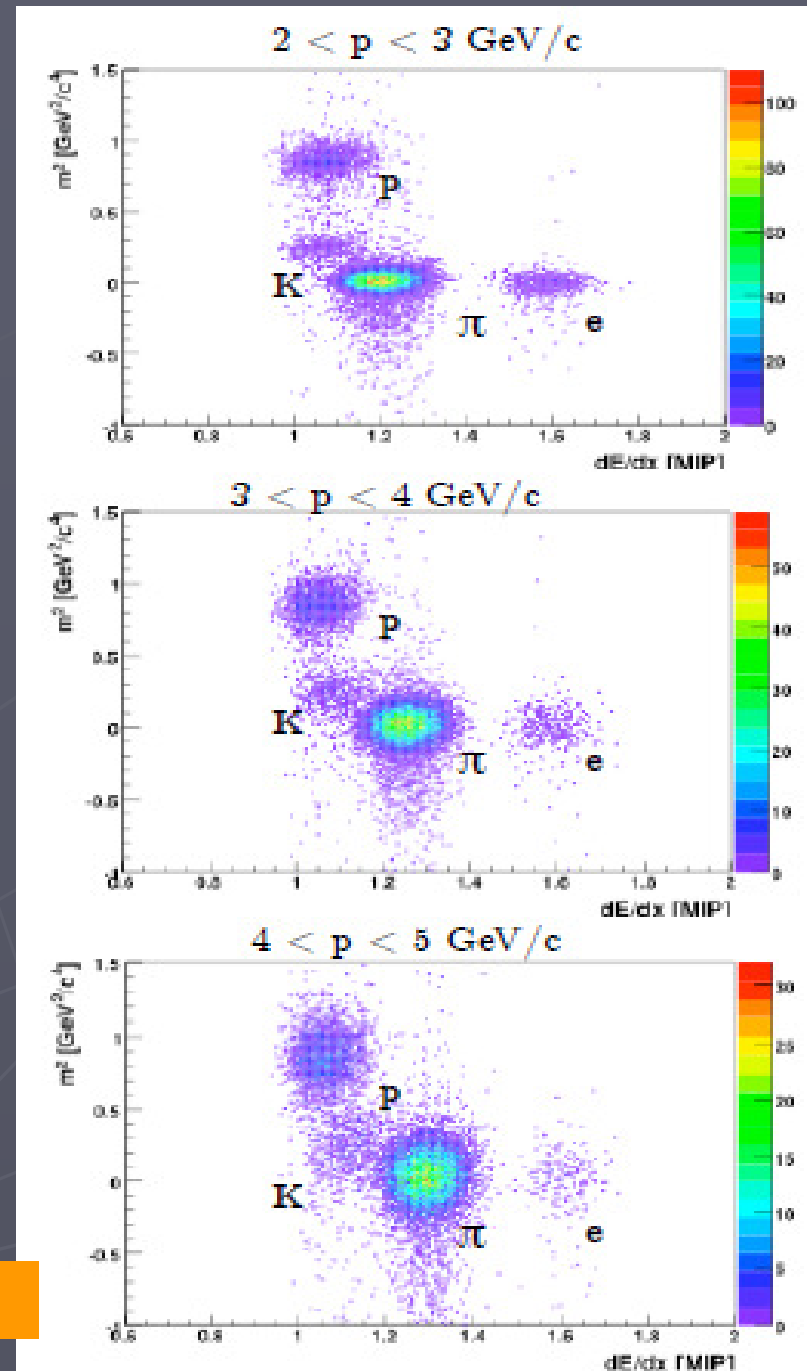


tylko błędy statystyczne

Preliminary

Identyfikacja cząstek - strategia (II)

- **Pomiar czasu przelotu oraz strat energii- połączona informacja :**
 - $p \sim [1-6]$ GeV/c pomiar czasu przelotu (ToF)
 - łączna analiza $dE/dx + \text{ToF}$



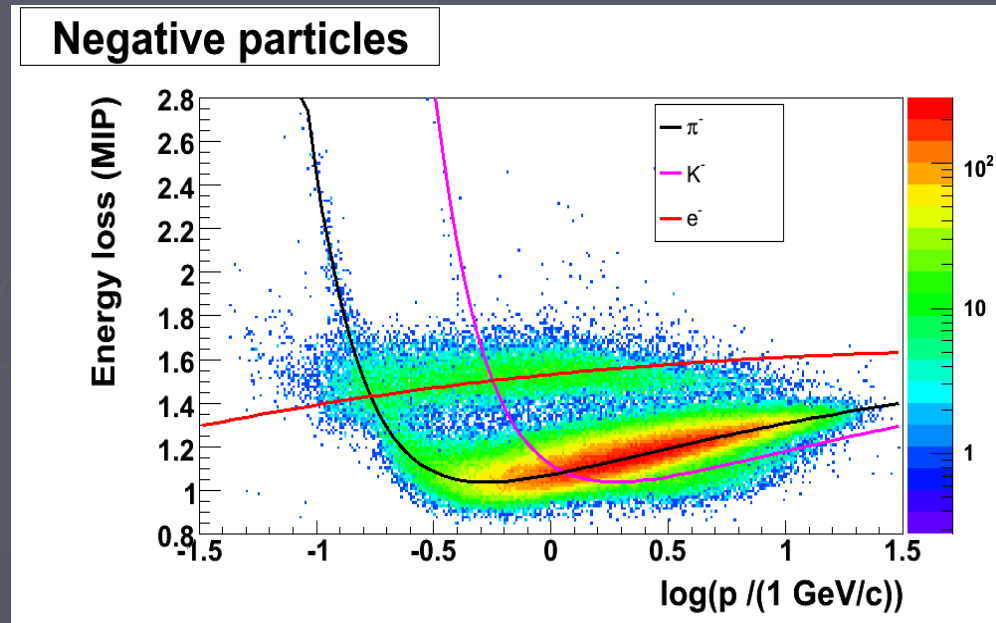
Identyfikacja cząstek - strategia (III)

➤ Analiza ujemnych hadronów:

➤ Analiza ujemnych cząstek powstałych w pierwotnym wierzchołku zwana (analizą h-) zakłada, że większość wyprodukowanych ujemnych cząstek w oddziaływaniach p-C przy energii 30 GeV to

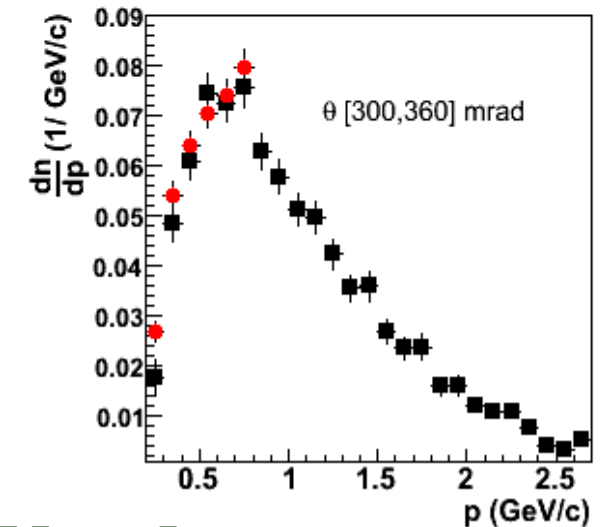
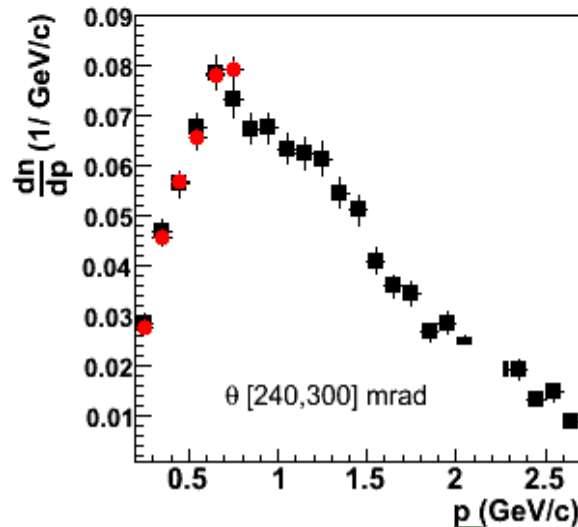
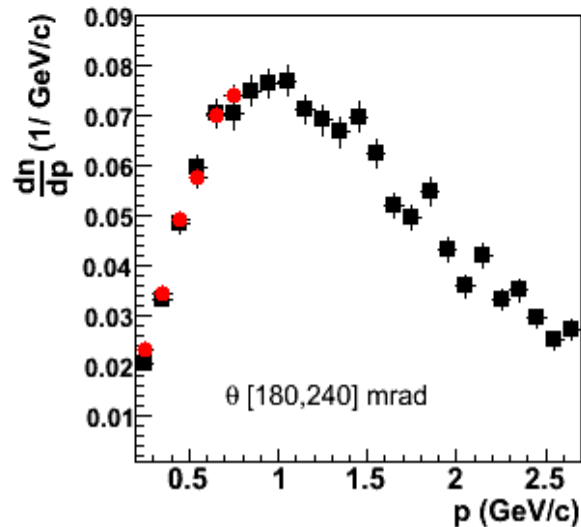
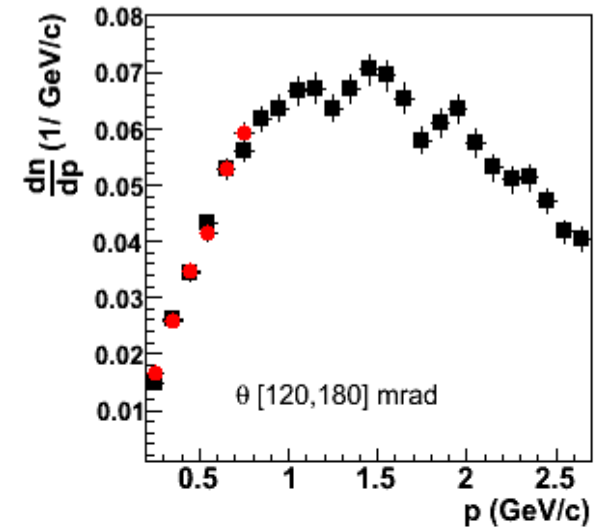
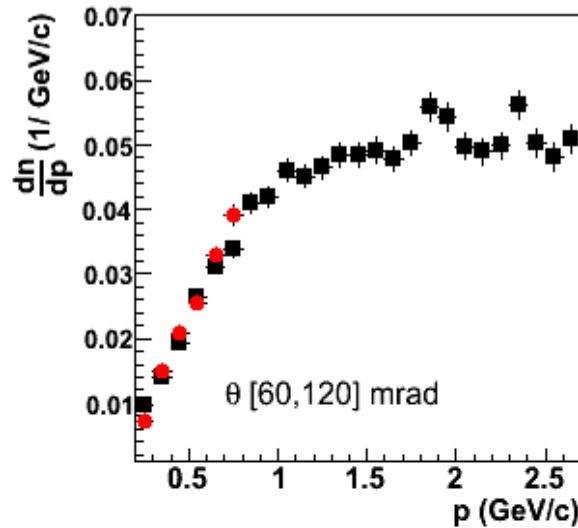
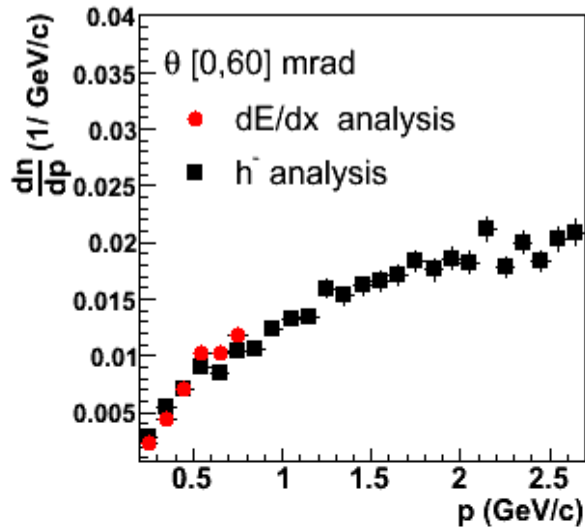
mezony π^- .

- Pozostałość to K^- , e^- oraz **zaniedbywalnie** mała liczba **antyprotonów**.
- Symulacyjny pakiet (Venus-GHEISHA oraz Geant) jest wykorzystywany do obliczeń poprawek związanych z akceptacją geometryczną detektora, wydajnością rekonstrukcji, słabymi rozpadami oraz rekonstrukcją wierzchołka.



Tomasz Palczewski, prof. Joanna Stepaniak

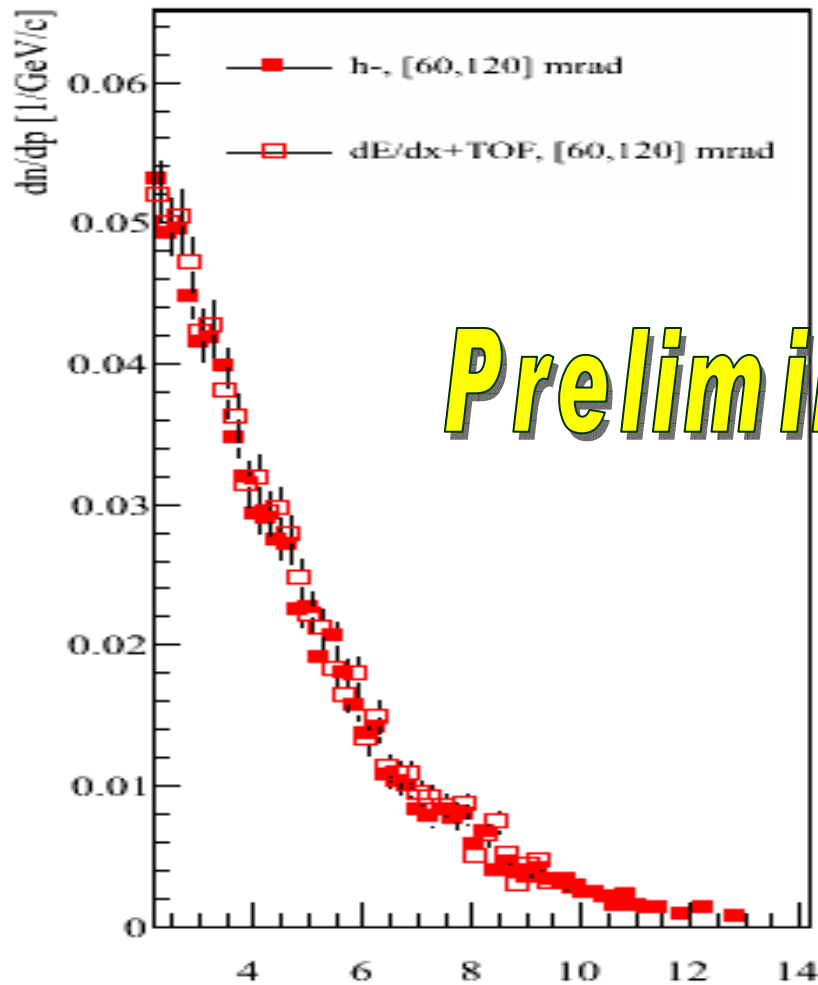
π^- - wyniki z dwóch analiz: dE/dx and h⁻



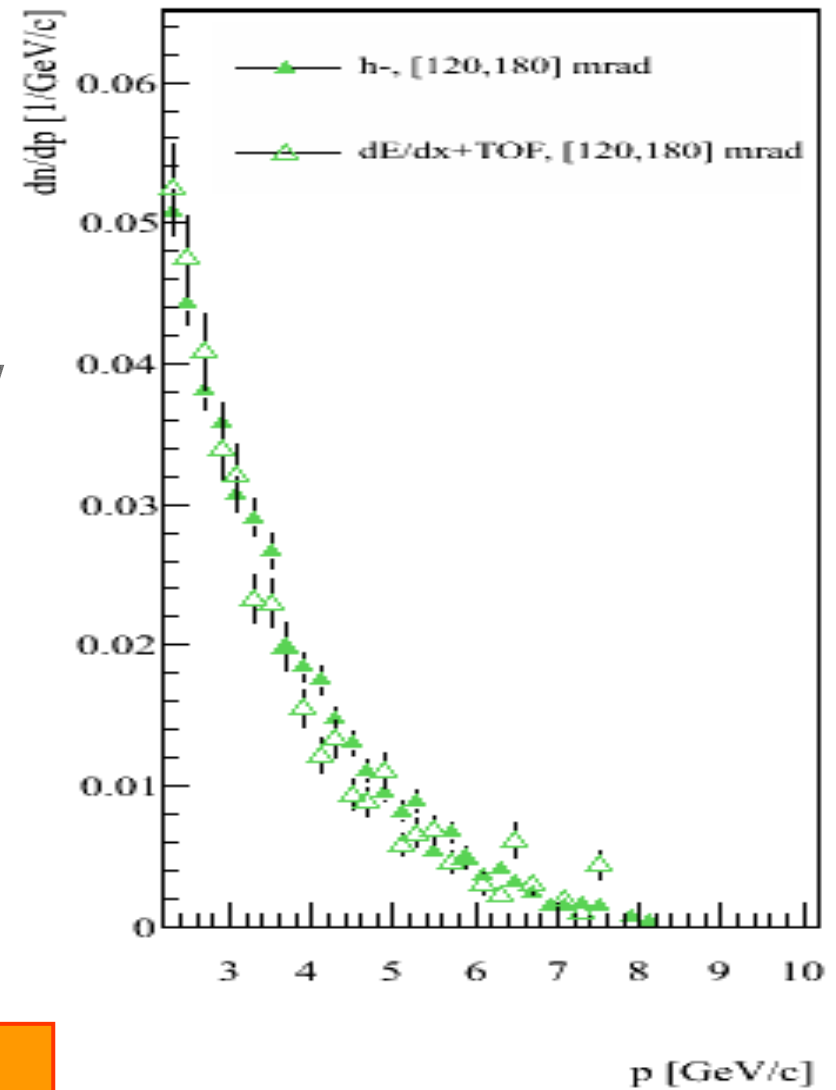
tylko błędy statystyczne

Preliminary

π^- - wyniki z dwóch analiz h^- oraz $dE/dx + \text{TOF}$



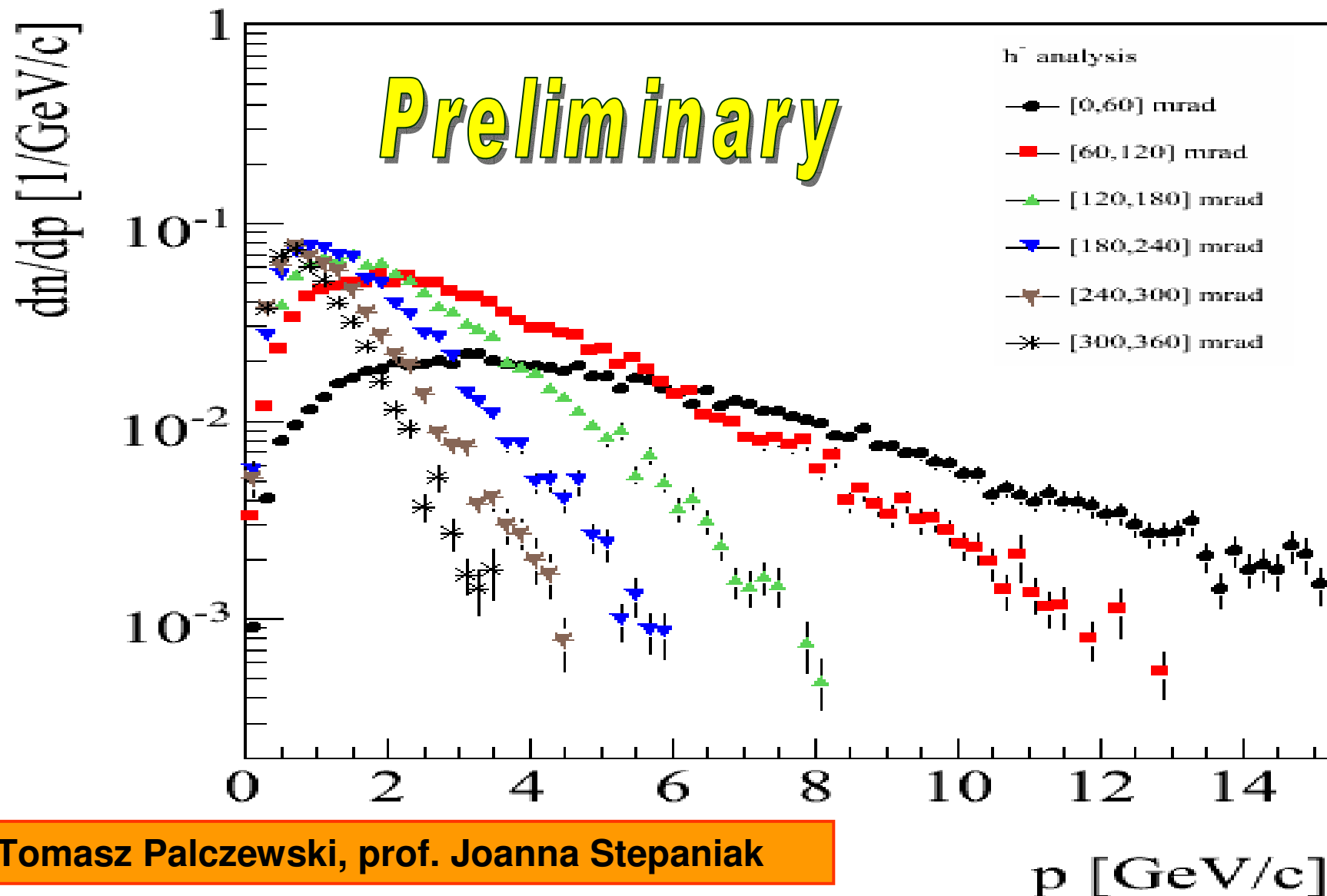
Preliminary



Tomasz Palczewski, prof. Joanna Stepaniak

Sebastien Murphy, Sandro Bravar

π^- - wyniki z analizy h^-



Tomasz Palczewski, prof. Joanna Stepaniak

Naświetlanie tarcz w 2009 roku

Start: 26 lipiec

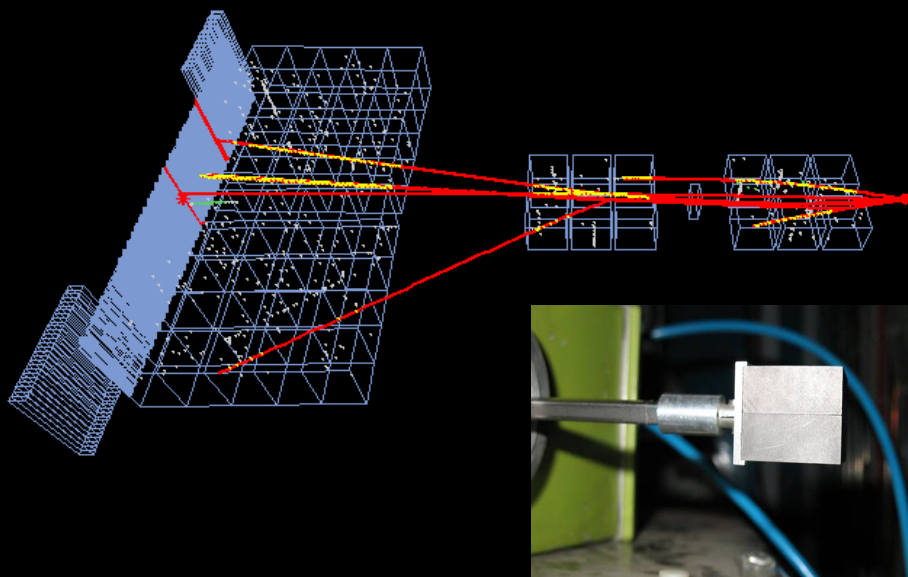
Koniec: 16 listopad

(~3 miesiące zbierania danych)

Zebrane dane w 2009 roku- fizyka neutrin

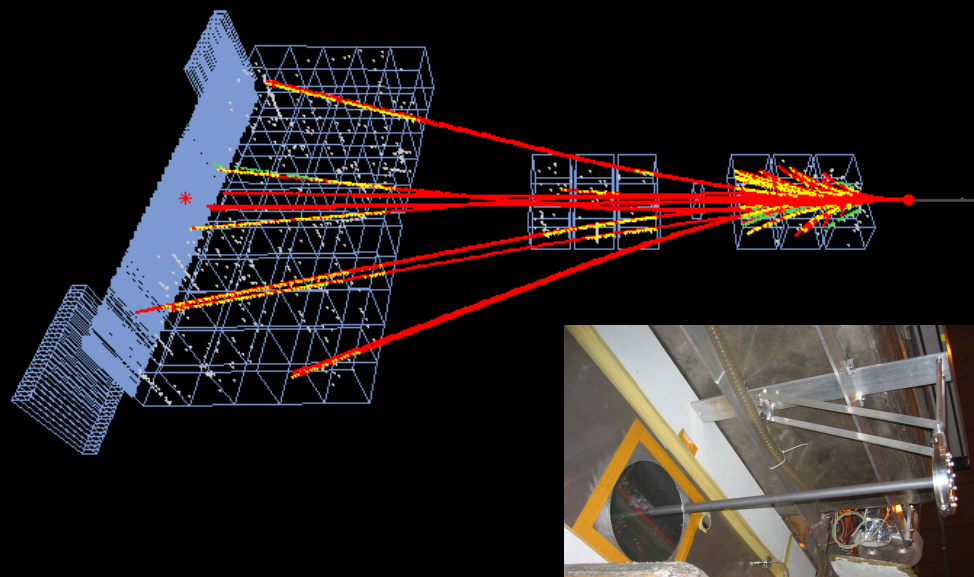
p+C at 31 GeV/c

6M events



p+(T2K replica target) at 31 GeV/c

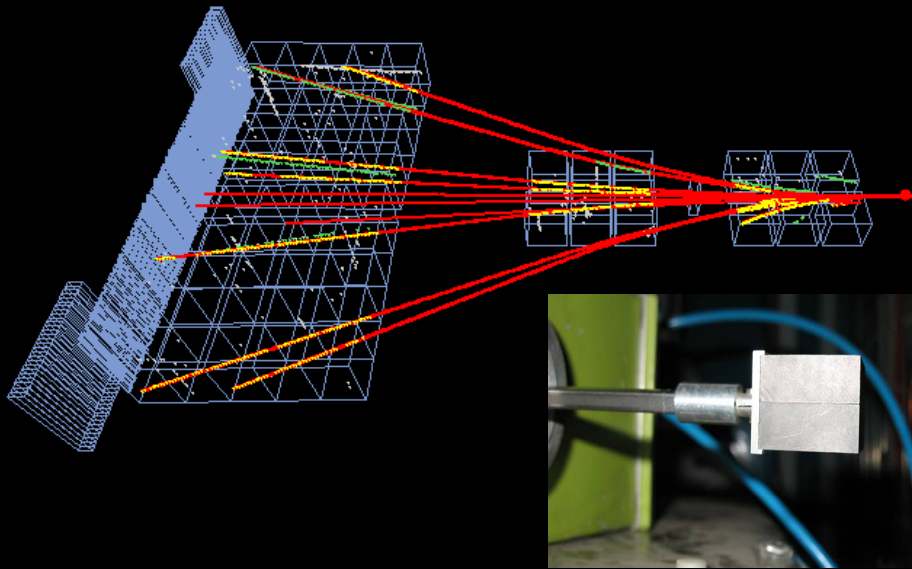
4M events



Zebrane dane w 2009 roku- fizyka promieniowania kosmicznego

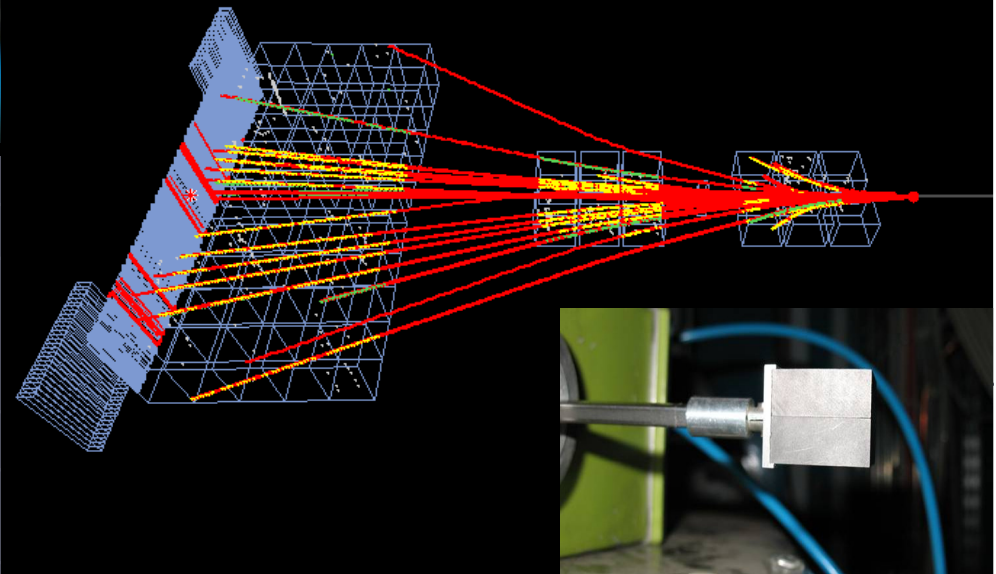
π^+C at 158 GeV/c

5M events



π^+C at 350 GeV/c

6M events



Zebrane dane w 2009 roku- fizyka silnie oddziałującej materii

p+p at 158 GeV/c

4M events

p+p at 80 GeV/c

4M events

p+p at 40 GeV/c

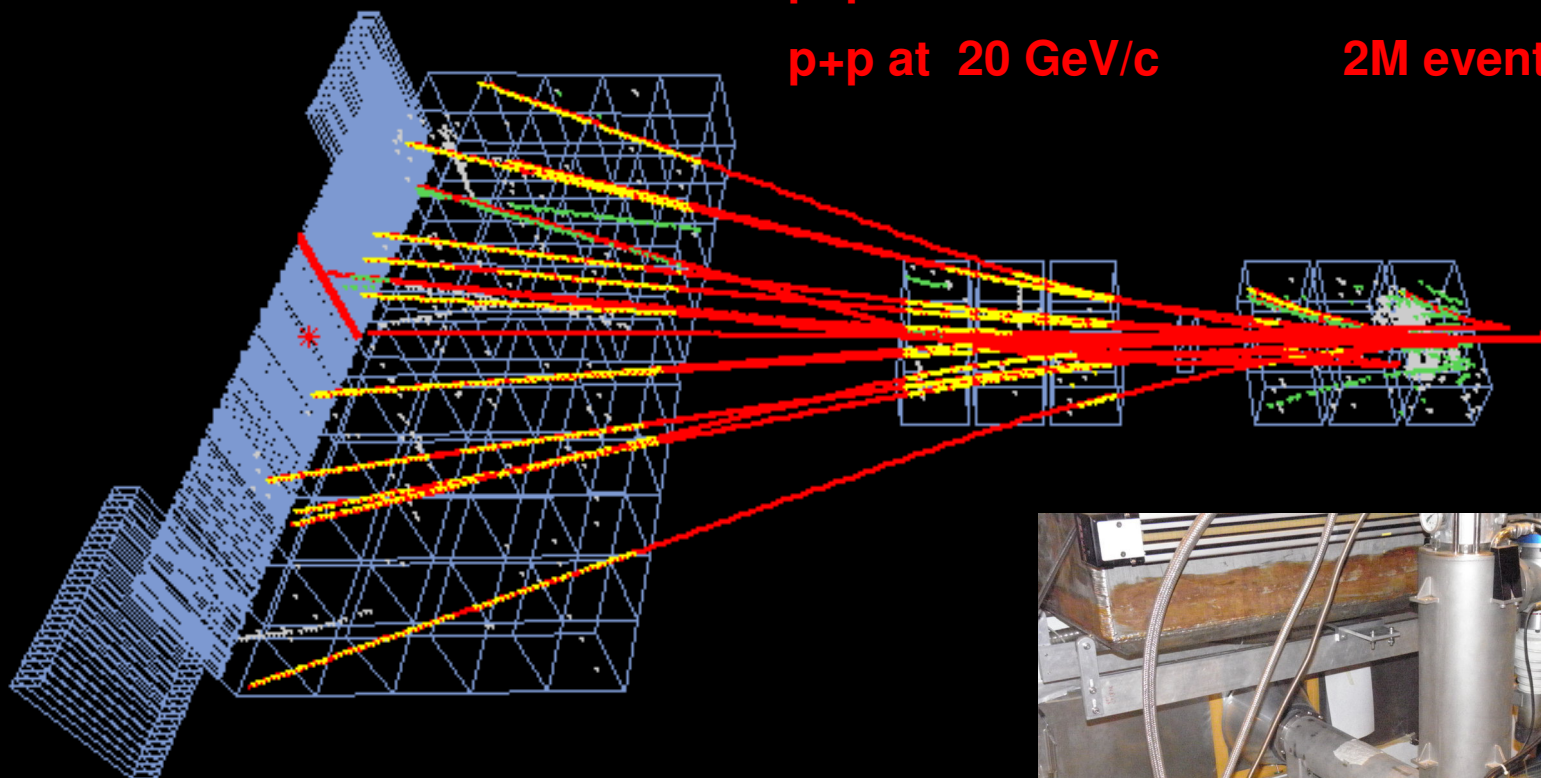
6M events

p+p at 31 GeV/c

3M events

p+p at 20 GeV/c

2M events



Podsumowanie (1)

- ▶ NA61 (SHINE) to wielki spektrometr hadronowy przy akceleratorze SPS w CERNie, który mierzy cząstki powstałe w wyniku oddziaływania protonów o energii 30 GeV na dwóch grafitowymi tarczach:
 - ▶ cienkiej: pomiar przekrojów czynnych
 - ▶ repliki tarczy T2K: studia wtórnych oddziaływań
- ▶ W 2007 roku podczas naświetlania grafitowych tarcz:
 - zebraliśmy dobrej jakości dane, ale o małej statystyce
 - zarówno dane jak i symulacje pokazują pełne pokrycie przestrzeni fazowej wymaganej w eksperymencie T2K.
 - otrzymaliśmy pierwsze widma pionów
 - praca nad analizą danych z długiej tarczy jest jeszcze kontynuowana

Podsumowanie (2)

- ▶ zbieranie danych w 2009 roku. (26 lipiec- 16 listopad, ok. 3 miesiące pracy na wiązce z SPS)
- ▶ Zmiany detektorowe przygotowane na 2009 rok:
 - nowa elektronika odczytu dla komór projekcji czasowe TPC oraz nowy system akwizycji danych-> zwiększenie szybkości odczytu o czynnik ok. 10 (~ 70 Hz)
 - nowy system wyzwalania danych
 - zwiększona akceptacja detektora czasu przelotu ToF-F ($p_{\min} \sim 1$ GeV/c \rightarrow 0.6 GeV/c)
 - nowe detektory pozycji wiązki (BPD) 5x5 cm²
 - dane zbierane dla eksperymentu T2K (p+C przy 31 GeV/c) przez okres ok. 3 tygodni
 - zebrano 6M przypadków dla cienkiej tarczy oraz ok. 4M na długiej

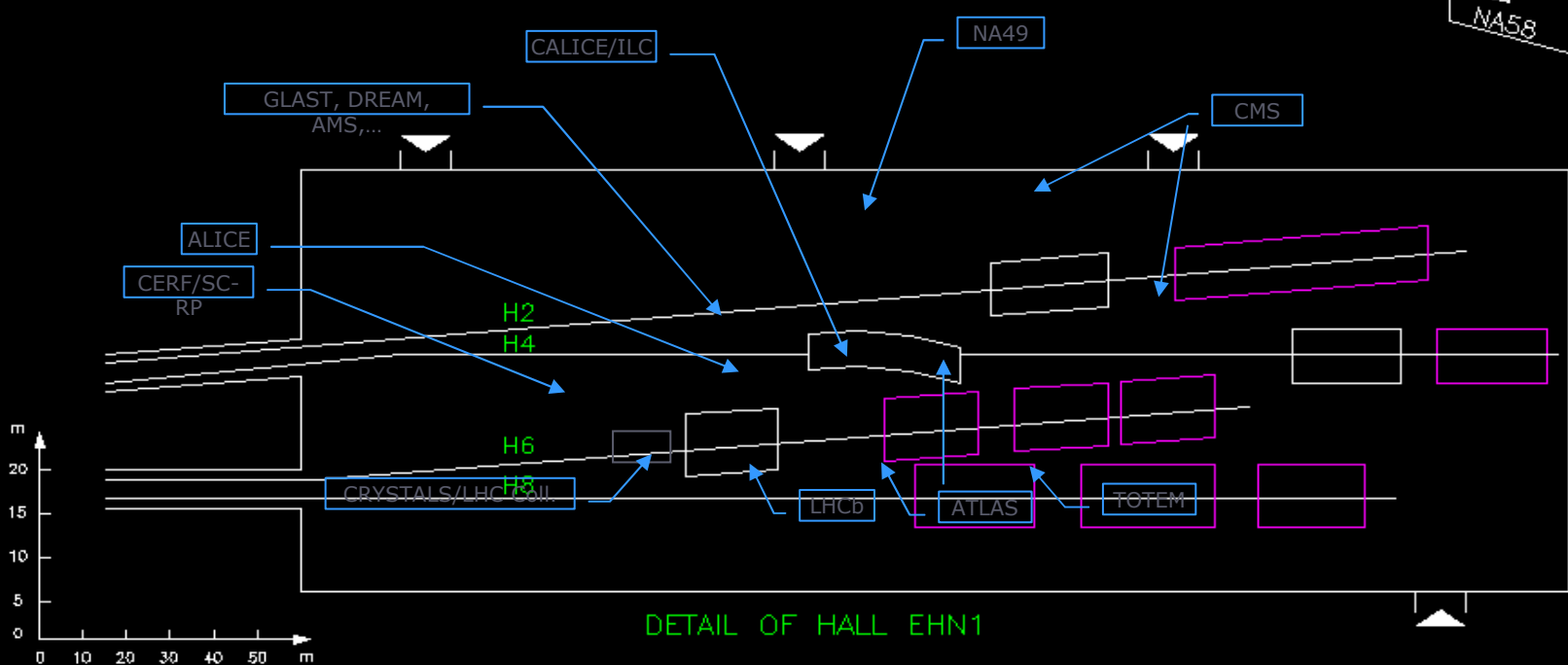
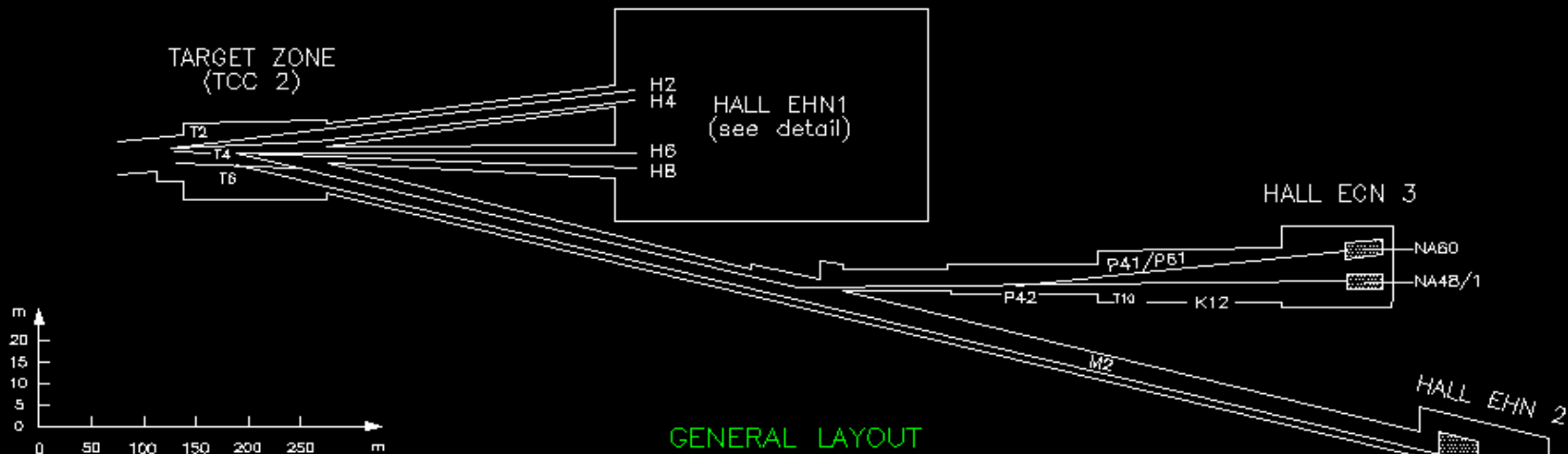
Back up

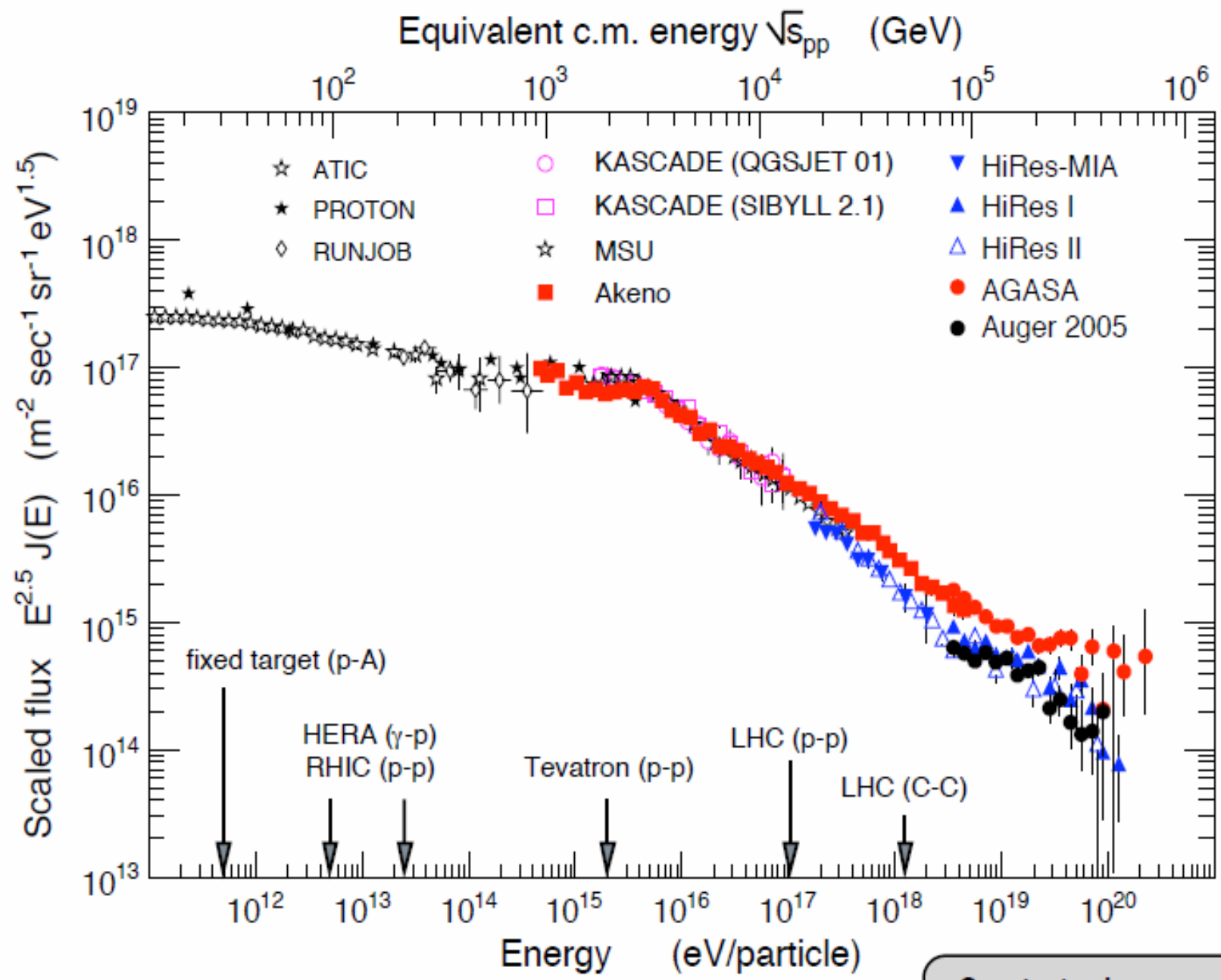
12.11.2009 magdap

52

SPS North Experimental Area

SPS NORTH EXPERIMENTAL AREA

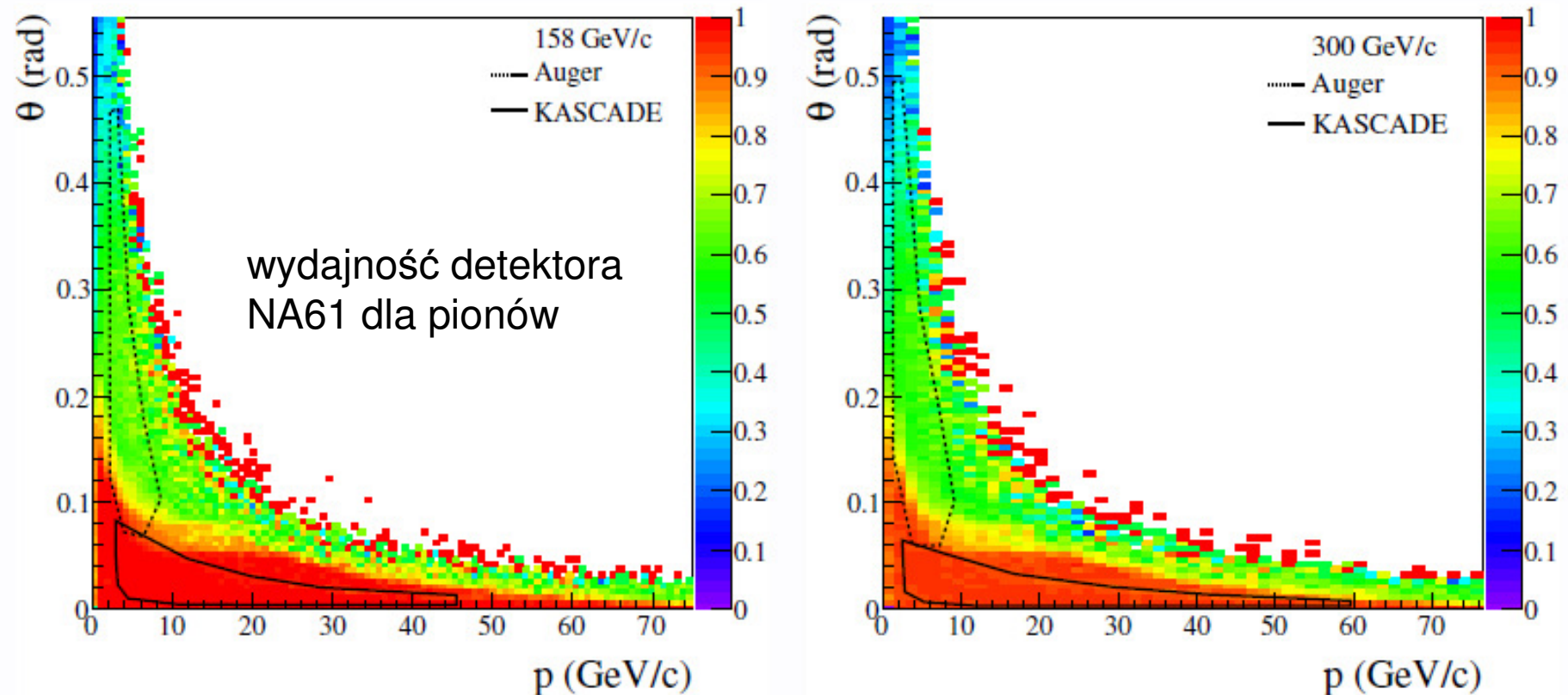




Statistical errors only!

NA61 (SHINE)- Program fizyczny – Pierre Auger i Kascade (II)

NA61 możliwości vs potrzeby Pierre Auger oraz Kascade



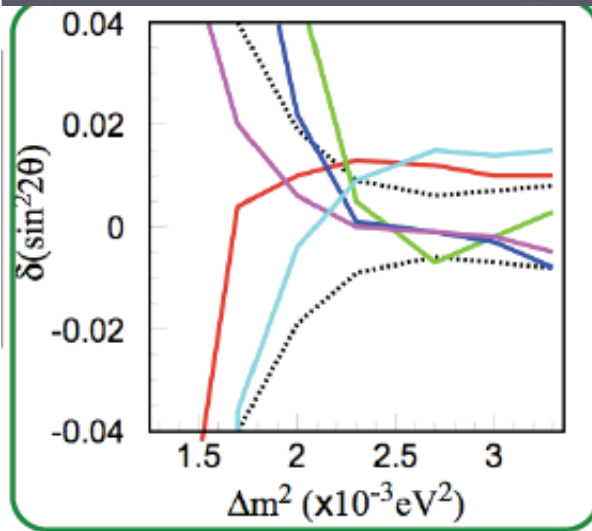
AUGER - 50-70% pokrycia w przestrzeni (p, θ)

KASCADE - 80-100% pokrycia w przestrzeni (p, θ)

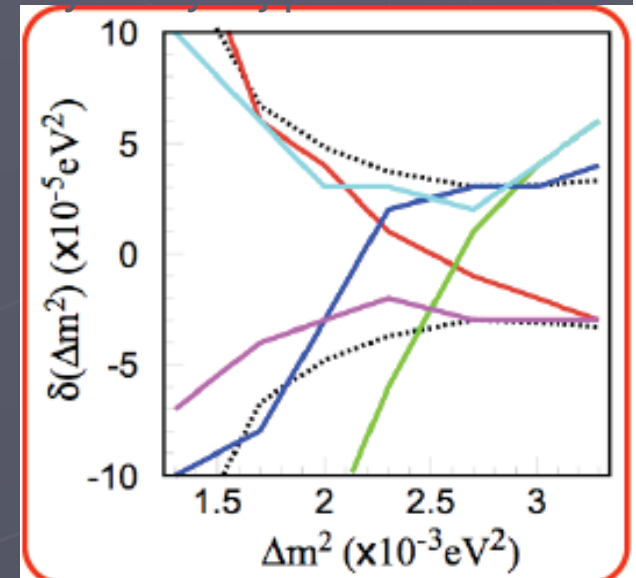
Sygnal dla ν_μ



$\delta(\sin^2 2\theta_{23}) \sim 0.01$, $\delta(\Delta m_{23}^2) \sim 3 \cdot 10^{-5} \text{ eV}^2$, (c.e. 0.04, $2-3 \cdot 10^{-4}$ SK, K2K, MINOS)



- normalizacja strumienia <10%
- kształt widma energetycznego (FLUKA/GFLUKA/MARS) <20%
- szerokość widma <10%
- (NC) /QE <20%
- skala energetyczna <2%



Dla wartości $\Delta m_{23}^2 = 2 - 3 \cdot 10^{-3} \text{ eV}^2$
niepewności prowadzą do ---->

$\delta R_{\mu,e} \sim 2-3\%$

	$\delta \sin^2 2\theta_{23}$	$\delta \Delta m_{23}^2 [10^{-5} \text{ eV}^2]$
stat.	0.008	3.5
syst. (beam)*	0.03	10
syst. (others)†	0.015	3

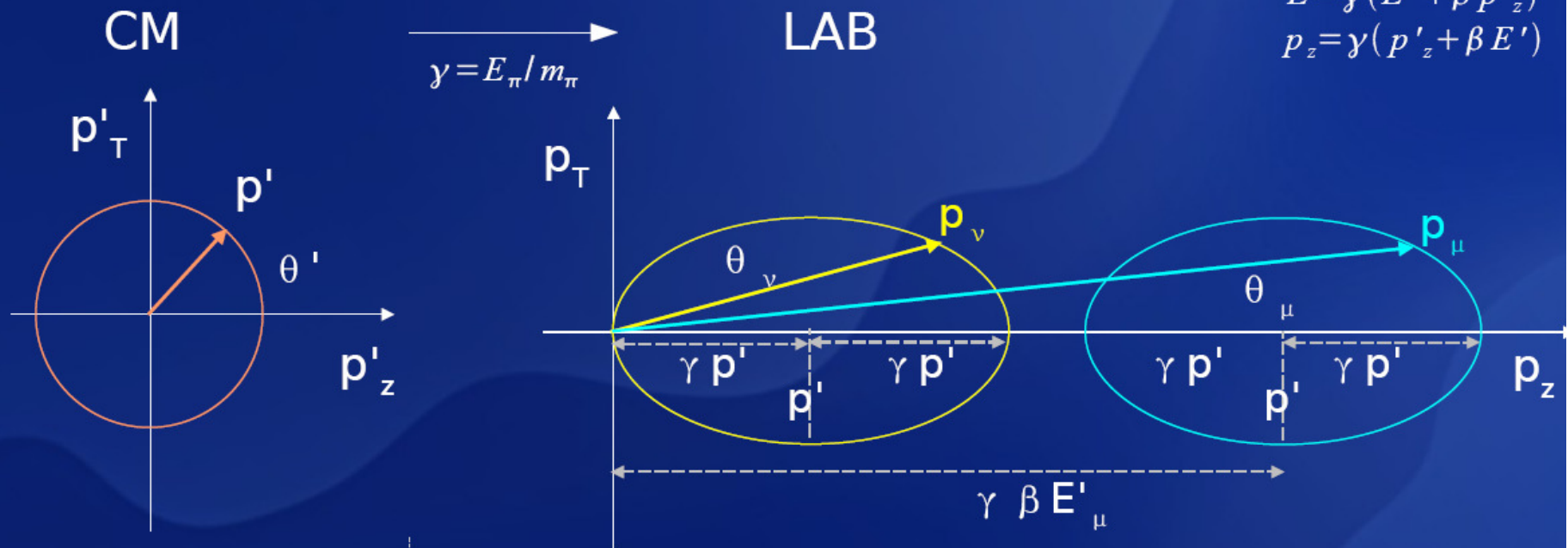
12.11.2009.mardan

$\delta(\sin^2 2\theta_{23}) \sim 0.005$ and $\delta(\Delta m_{23}^2) \sim 1.5 \times 10^{-5} \text{ eV}^2$

Kinematyka rozpadu pionu (lub kaonu)

$$E = \gamma(E' + \beta p'_z)$$

$$p_z = \gamma(p'_z + \beta E')$$



$$p' = \frac{m_\pi}{2} \left(1 - \frac{m_\mu^2}{m_\pi^2} \right)$$

dla π $p' = 29.8 \text{ MeV}$
 dla K $p' = 235.6 \text{ MeV}$

izotropowy rozkład kątowy

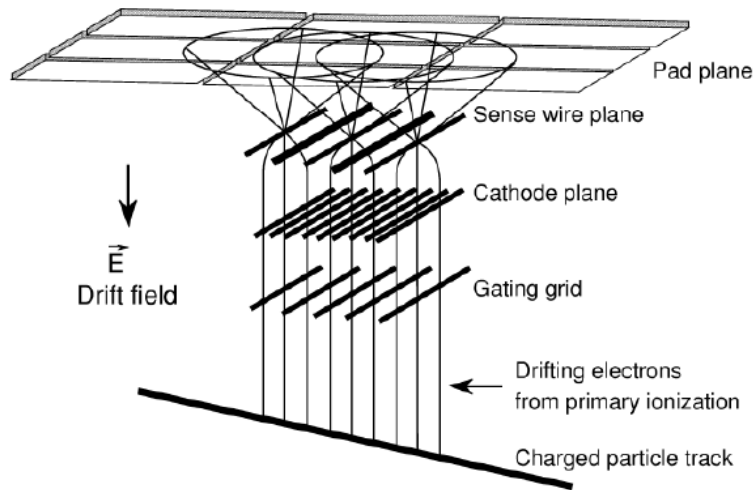
zakres pędów $0 \div p_\nu^{max} = 2\gamma p' = \left(1 - \frac{m_\mu^2}{m_\pi^2} \right) E_\pi$

$$E_\nu = \gamma(E'_\nu + \beta E'_\nu \cos \theta')$$

$$\gamma \tan \theta = \frac{\sin \theta'}{\cos \theta' + \beta / \beta'}$$

gdzie $\beta' = p' / E'$ dla ν 1, dla μ 0.28 (π), 0.91 (K)

Komory projekcji czasowej (TPC)



- 1) cząstka jonizuje gaz
- 2) elektrony dryfują w kierunku padów odczytowych
- 3) elektrony tworzą lawinę na drutach odczytowych
- 4) sygnał rejestrowany jest na padach

Mieszanka gazowa : VTPC ArCO₂ 90/10 oraz MTPC ArCO₂ 95/5

Argon - większe wzmocnienie gazowe

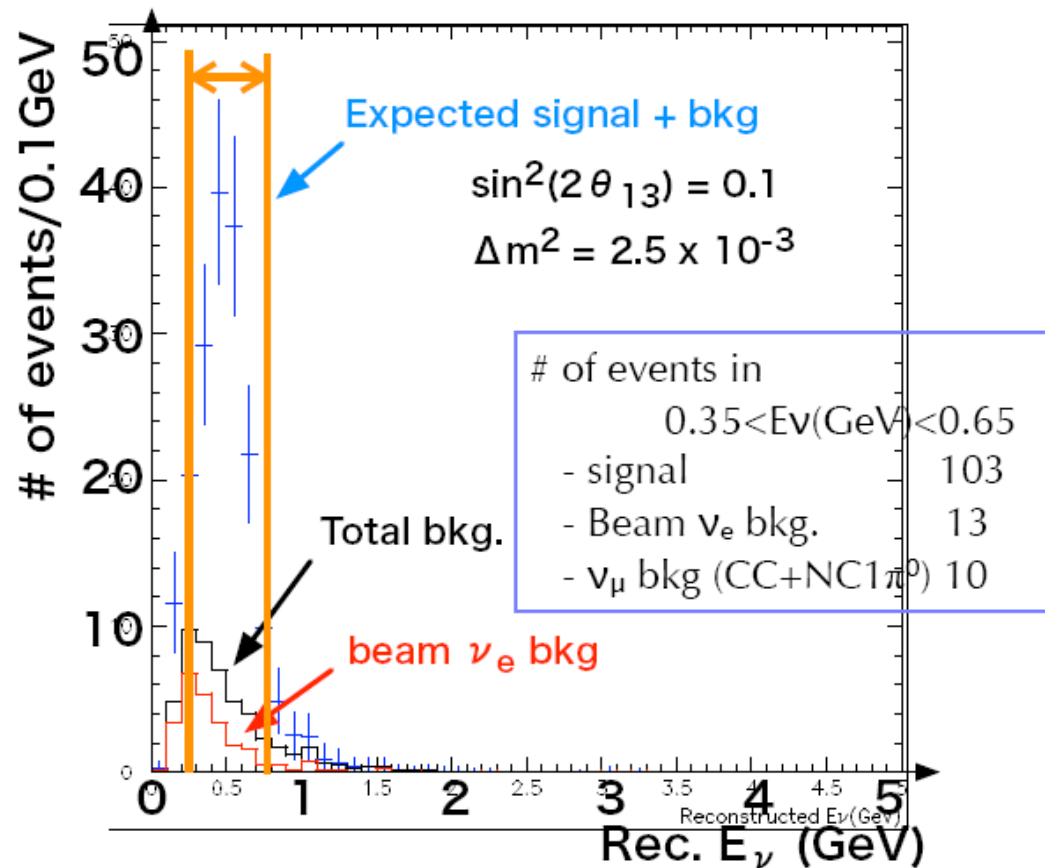
CO₂ – zmniejsza prędkość dryfu

Sygnal dla ν_e



δN_{bg}

$\delta(R_{\mu,e}) \sim 2 - 3 \%$



$\delta(N^{\pi^0}) < 1.6\%$ (0-1 GeV) i $\delta(N^{\pi^0}) < 1.4\%$ (1 -10 GeV),

$\delta(N^e) < 2.7\%$ (0-1 GeV) i $\delta(N^e) < 0.4\%$ (1 -10 GeV),

Oddziaływania wtórne w długiej tarczy

π dzielimy na:

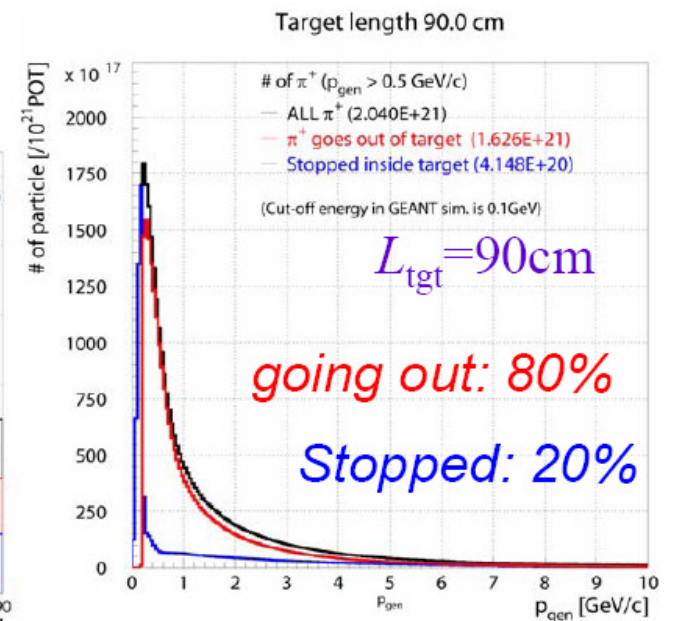
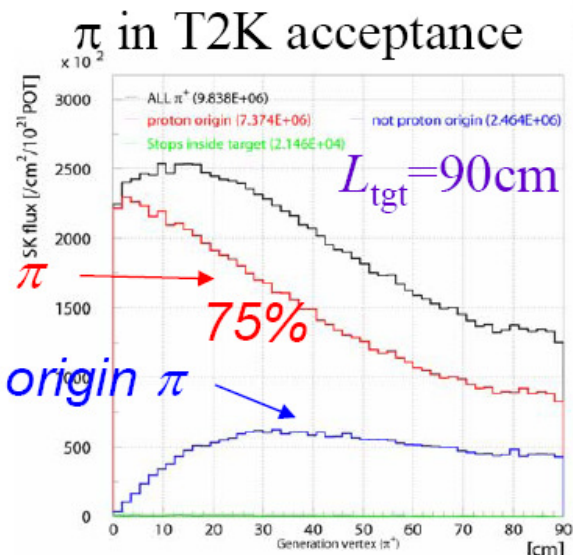
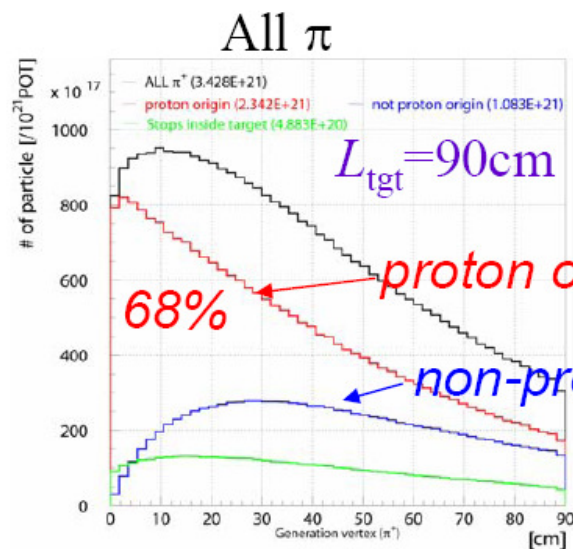
- * wszystkie 68% proton-> 32% nie proton
- * znajdujące się w akceptacji T2K: 75% proton-> 25% nie proton

Absorpcja π dla ($p_{\pi} > 0.5$ GeV):

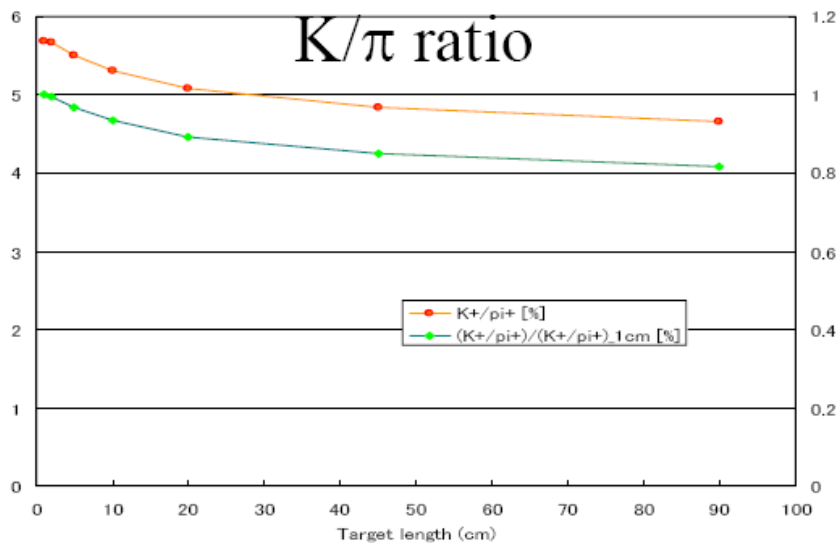
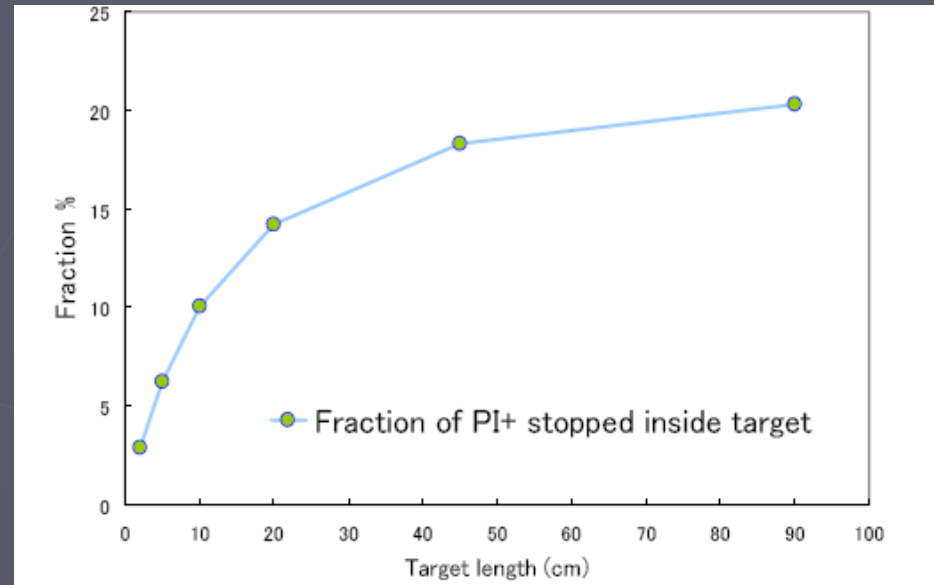
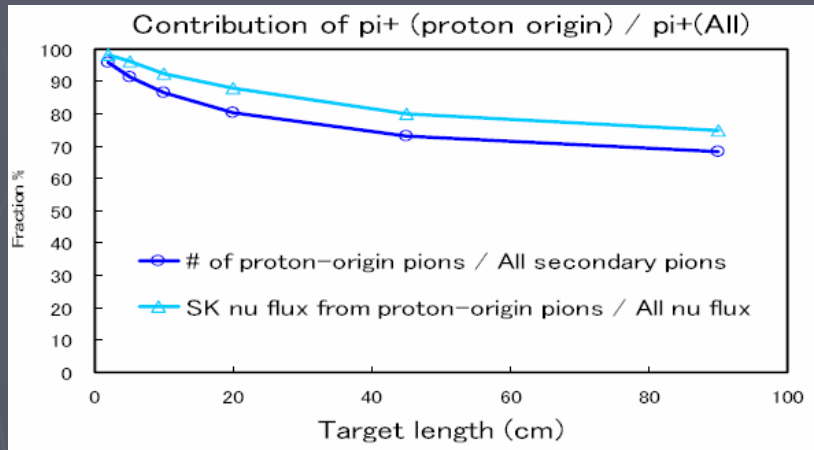
80% wychodzi -> 20%
zatrzymuje się w tarczy

● Effect of secondary Interaction: 20~30% level

Production point of π



Oddziaływania wtórne vs długość tarczy



dla tarczy 2cm efekt wtórnych oddziaływań ~ 2%

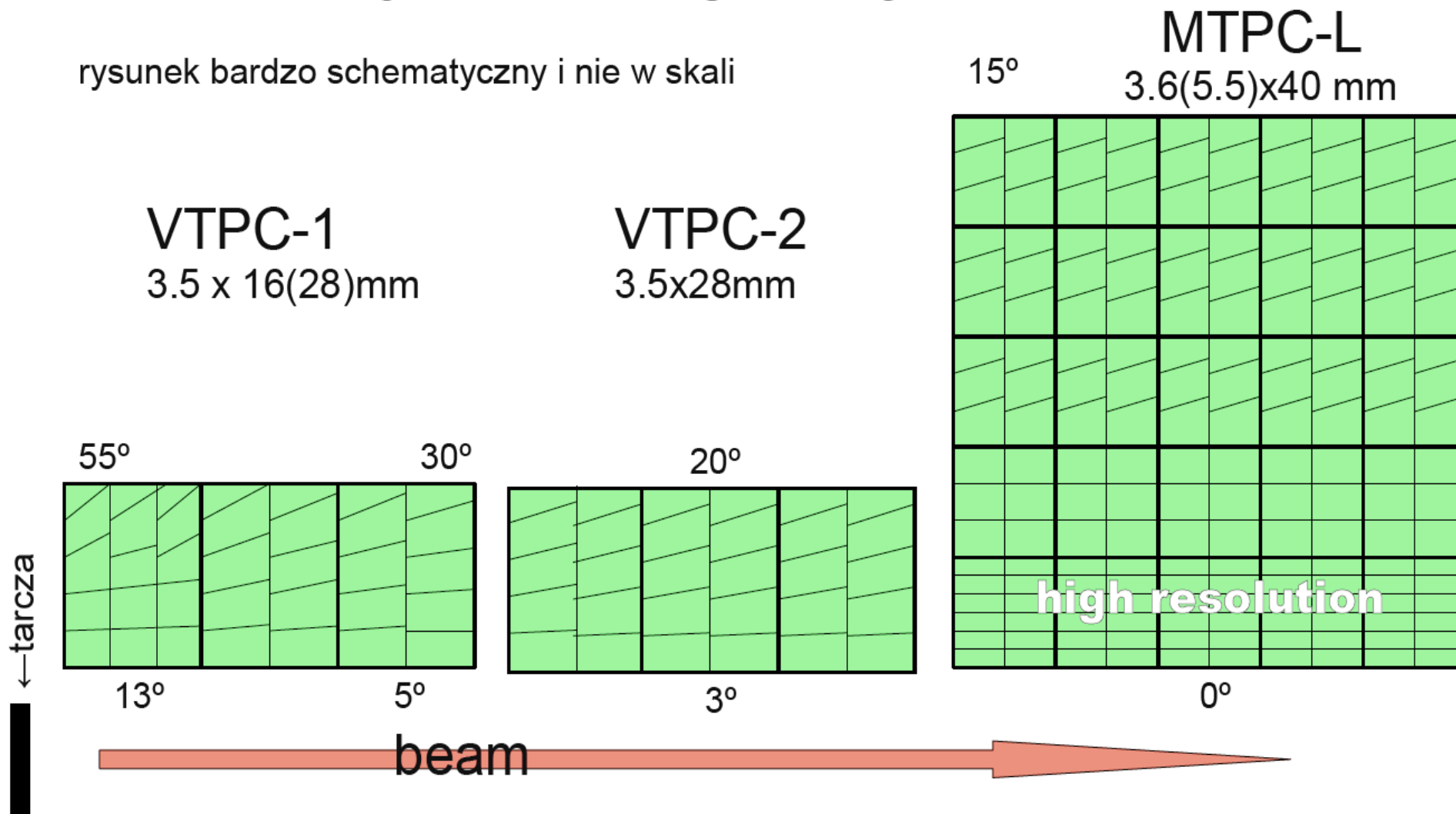
dla 90 cm tarczy ~ 20%

T. Nakadaira

2009 magdop

Optymalizacja kąta padów

rysunek bardzo schematyczny i nie w skali



Normalizacja do przekrojów czynnych

- The inclusive inelastic cross section of a particle type α can experimentally be expressed by

$$\alpha = \pi, K, p \quad \frac{\Delta\sigma_{inel,\alpha}^{meas}}{\Delta p \Delta\theta} = \frac{1}{n N_{Beam}} \frac{\Delta n_{\alpha}}{\Delta p \Delta\theta} = \frac{N_{trig}}{n N_{Beam} N_{trig}} \frac{\Delta n_{\alpha}}{\Delta p \Delta\theta} = \frac{\sigma_{trig}}{N_{trig}} \frac{\Delta n_{\alpha}}{\Delta p \Delta\theta}$$

n : target properties,
 N_{beam} : # of incoming beam p,
 N_{trig} : # of triggers,
 σ_{trig} : trigger cross section,
 Δn : # of identified particles
in a given bin p- θ bin

- σ_{trig} thus involves the trigger rate and the target properties

$$\sigma_{trig} = \frac{1}{n} \frac{N_{trig}}{N_{beam}} = \frac{1}{\rho L_{eff} N_A / A} P_{int}$$

$$L_{eff} = \lambda_{abs} (1 - e^{-L/\lambda_{abs}})$$

$$\lambda_{abs} = \frac{A}{\rho N_A \sigma_{trig}}$$

ρ : density, L: length
 N_A : Avogadro const.
A: Atomic number
 L_{eff} : effective length
 λ_{abs} : abs. length

- The real interaction probability (P_{int}) is calculated as the difference of the rate obtained with and without target:

$$P_{int} = \frac{R_{T_{in}} - R_{T_{out}}}{R_{Beam}} = P_{T_{in}} - P_{T_{out}}$$

- Interaction rate (Data):

- Target out: $(1.72 \pm 0.01)\%$

- Target in: $(7.07 \pm 0.01)\%$

- $L_{eff} = 1.95$ cm

$$\sigma_{trig} = 297.5 \pm 0.7 \pm 3.9 \text{ mb}$$

$$\varepsilon = \frac{R_{T_{out}}}{R_{T_{in}}} = 24.3\%$$

High T_{out}/T_{in} rate due to inelastic and elastic interactions in the material of the beamline

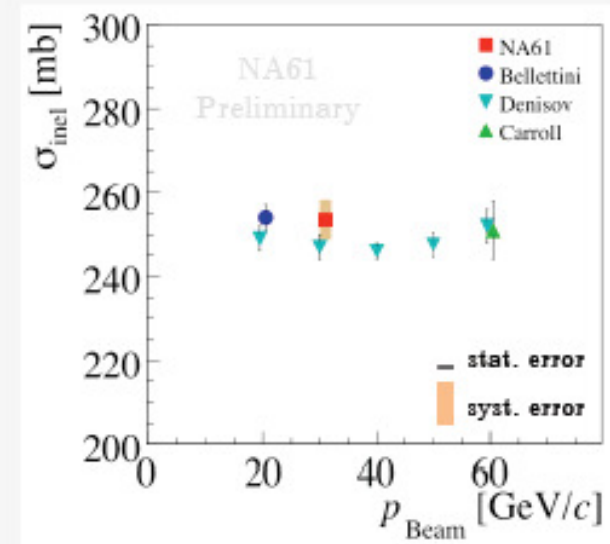
NA61 Preliminary

Nieelastyczny przekrój czynny

- σ_{inel} can be obtained from the σ_{trig} by applying the following corrections:
 - 1) Subtract the contribution of elastic interactions due to large angle coherent scattering
 - 2) Add the contribution of lost events where a secondary particle hits S4. Here, the major contribution comes from quasi-elastic scattering of the incident protons (σ_{loss-p}). Also secondary pions or kaons hitting S4 have to be taken into account ($\sigma_{loss-\pi/K}$)

→ Corrections have been estimated with Geant4 simulation

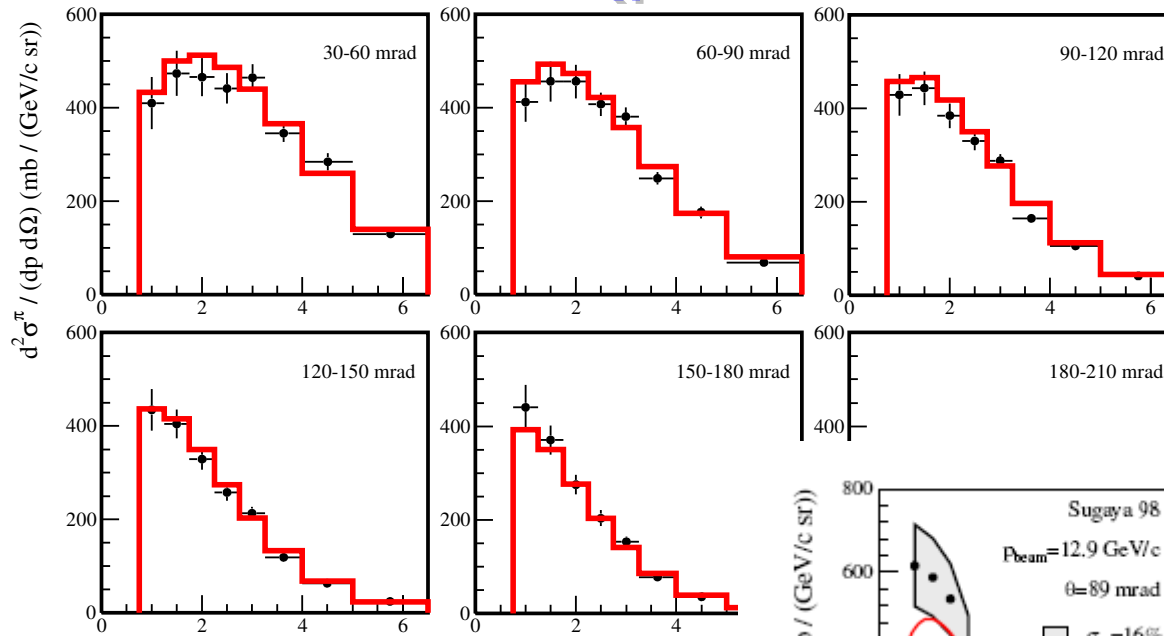
σ contribution	value [mb]
σ_{trig}	$298.3 \pm 0.7 \pm 3.9$
σ_{loss-p}	$4.1 \pm 0.2 \pm 0.7$
$\sigma_{loss-\pi/K}$	$0.6 \pm 0.06 \pm 0.05$
$\sigma_{elastic}$ contribution	$-56.6 \pm 0.6 \pm 2.5$
σ_{inel}	$253.5 \pm 1.0 \pm 4.7$



→ Preliminary value for the σ_{inel} is in good agreement with previous measurements

Recalculated from

HARP Result (p-Al at 12.9 GeV)

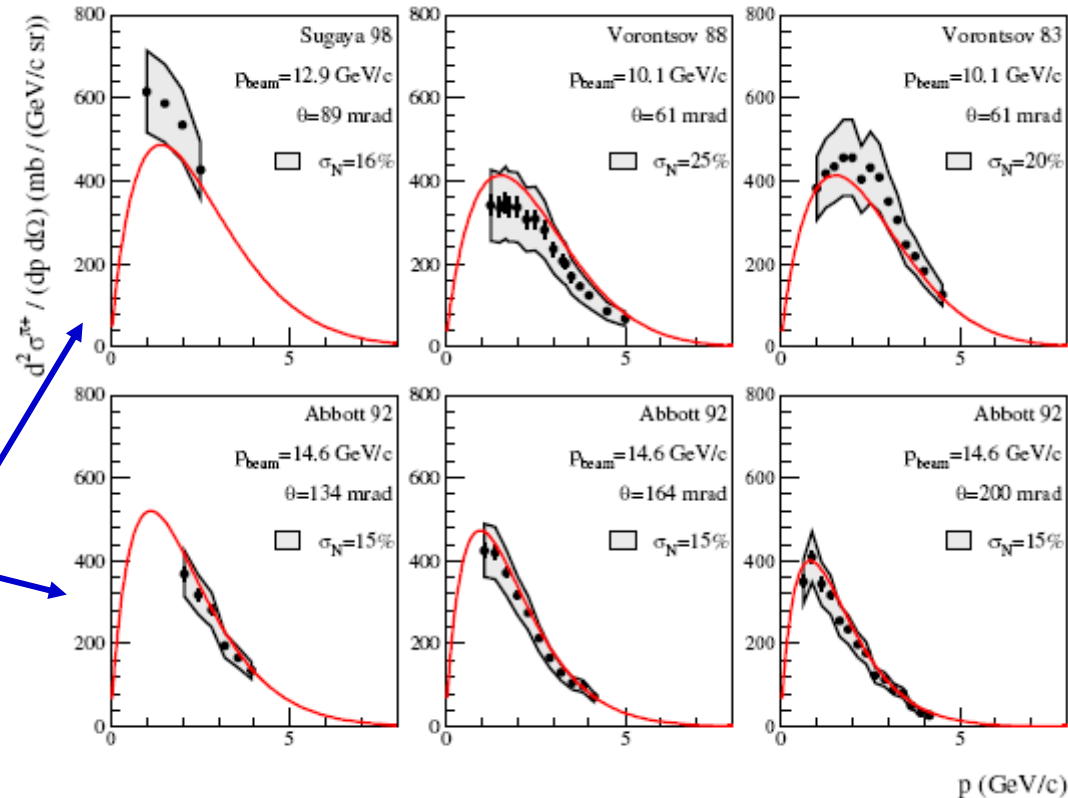


HARP data points

HARP Sanford-Wang parametrization

results based on ~200 k reconstructed tracks

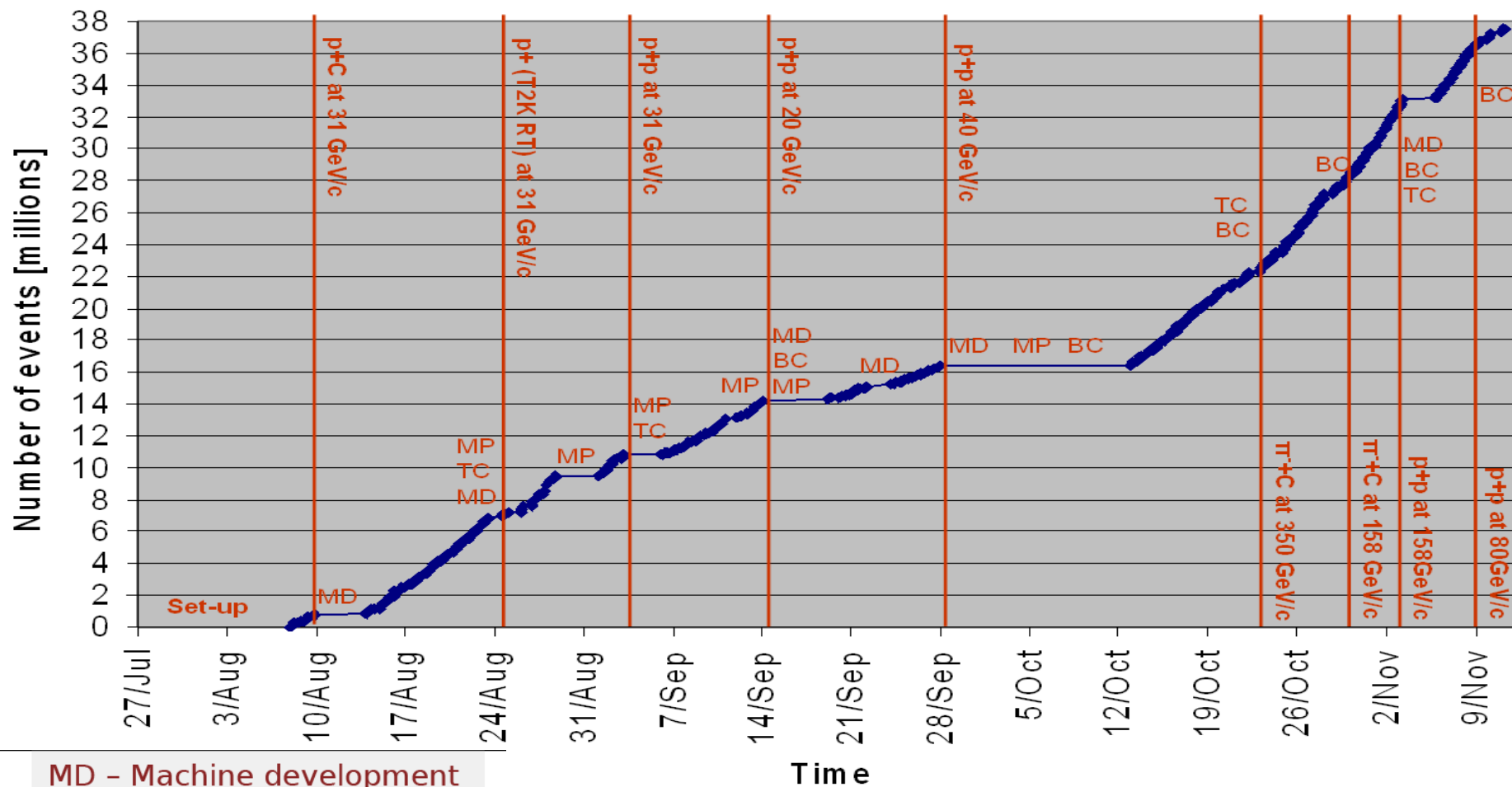
doubly differential cross-section comparison to previous data: large normalization uncertainty



p (GeV/c)

Dane zebrane w 2009 roku - podsumowanie

All events in production runs



MD - Machine development
 MP - Machine problems
 TC - Target Change
 BC - Beam Change