

Przegląd wyników eksperymentu NA61/SHINE przy akceleratorze SPS w CERN

Tomasz Jan Palczewski

Narodowe Centrum Badań Jądrowych

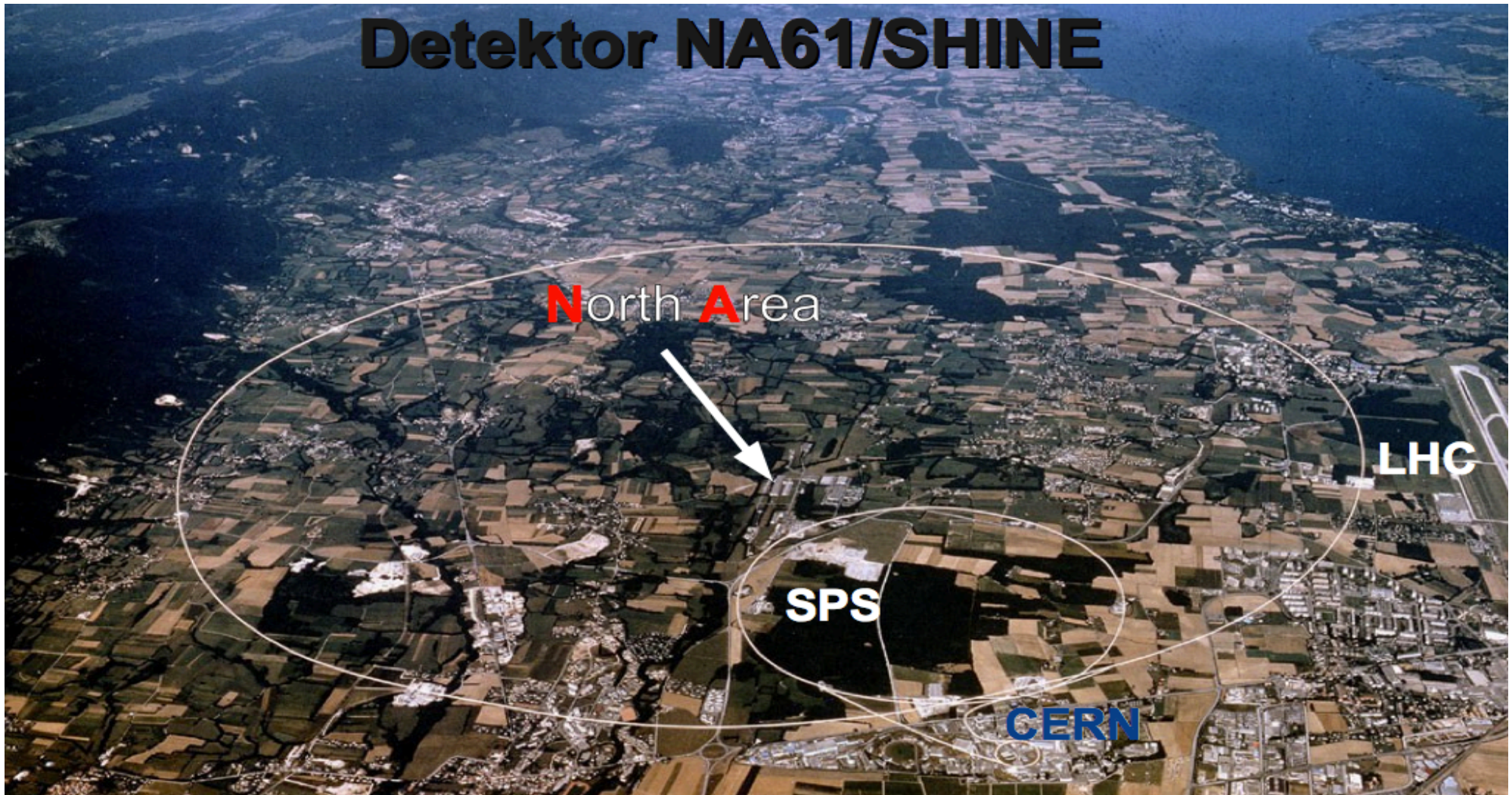
Przedstawiony zostanie przegląd wyników uzyskanych w eksperymencie NA61/SHINE który zbiera dane przy akceleratorze SPS w Europejski Ośrodku Badań Jądrowych w Genewie (CERN). Omówione zostaną trzy główne kierunki prowadzonych badań: wyniki referencyjne dla istniejących i przyszłych eksperymentów neutrinowych (T2K, MINOS+, NOvA, LBNE, Minerva, MicroBooNE), poszukiwanie punkty krytycznego oraz oznak przejścia fazowego na diagramie fazowym silnie oddziałującej materii, oraz pomiary konieczne dla lepszego zrozumienia symulacji pęków promieniowania kosmicznego (Pierre Auger, KASCADE). Opowiem o problemach na jakie napotkałem, próbując precyzyjnie zmierzyć różniczkowe przekroje czynne na produkcje hadronów.

NA61/SHINE @ SPS (CERN)

NA61/SHINE - stacjonarna tarcza. Spektrometr hadronowy dużej akceptacji.

Badania oddziaływań hadron-jądro oraz jądro-jądro.

Następca eksperymentu NA49.

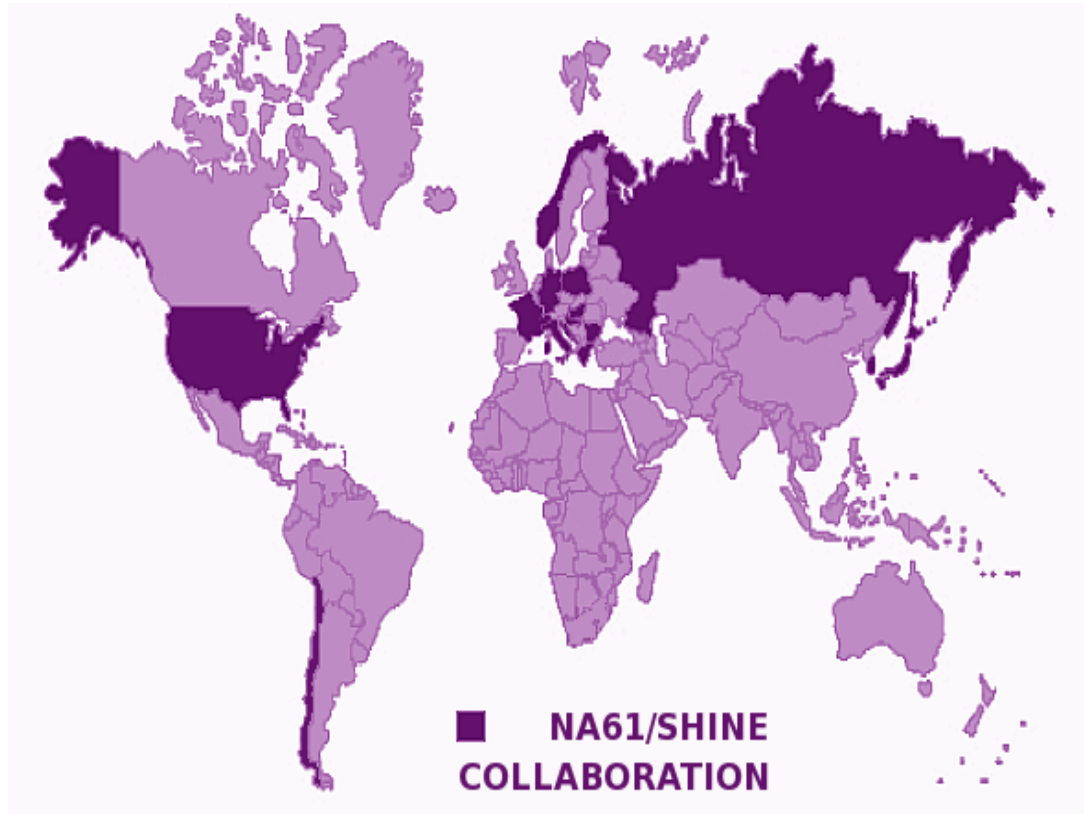


NA61/SHINE @ SPS (CERN)

NA61/SHINE - stacjonarna tarcza. Spektrometr hadronowy dużej akceptacji.

Badania oddziaływań hadron-jądro oraz jądro-jądro.

Następca eksperymentu NA49.



Rzecznik: M. Gaździcki (Frankfurt/Main, Kielce)

ETH, Zurich, Switzerland
Fachhochschule Frankfurt, Frankfurt, Germany
Faculty of Physics, University of Sofia, Sofia, Bulgaria
Karlsruhe Institute of Technology, Karlsruhe, Germany
Institute for Nuclear Research, Moscow, Russia
Institute for Particle and Nuclear Studies, KEK, Tsukuba, Japan
Jagiellonian University, Cracow, Poland
Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia
Wigner Research Centre for Physics of the Hungarian Academy of Sciences, Budapest, Hungary
LPNHE, University of Paris VI and VII, Paris, France
University of Silesia, Katowice, Poland
Rudjer Boskovic Institute, Zagreb, Croatia
National Center for Nuclear Research, Warsaw, Poland
St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia
State University of New York, Stony Brook, USA
Jan Kochanowski University in Kielce, Poland
University of Athens, Athens, Greece
University of Bergen, Bergen, Norway
University of Bern, Bern, Switzerland
University of Frankfurt, Frankfurt, Germany
University of Geneva, Geneva, Switzerland
University of Warsaw, Warsaw, Poland
Warsaw University of Technology, Warsaw, Poland
The Universidad Tecnica Federico Santa Maria, Valparaiso, Chile

Plan prezentacji

- Cele
 1. **Poszukiwaniem punktu krytycznego oraz oznak przejścia fazowego do plazmy kwarkowo-gluonowej**
 2. **Zrozumienie produkcji wiązek neutrinowych dla istniejących i przyszłych eksperymentów przy akceleratorach (T2K, MINOS+, NO ν A, LBNE, Minerva, MicroBooNE)**
 3. Poprawa dokładności symulacji pęków atmosferycznych (Pierre Auger, KASCADE)
- Przegląd wyników eksperymentalnych p A
- Detektor NA61/SHINE
- Wyniki oparte dla danych zebranych w 2007 roku
 - pC (2cm)@31GeV/c
 - π^+ , p (S.Murphy – UniGe, **M.Posiadała - UW**), K^+ (S.Murphy, S. Di Luise – ETH Zurich)
 - π^- (T.Palczewski – NCBJ, S.Murphy, **M.Posiadała**), K^0_s , Λ^0 (T.Palczewski)
 - pC (replika tarczy T2K – 90cm) @ 31 GeV/c
 - π^+ (N.Abgrall – UniGe)
- Wstępne wyniki oparte na danych zebranych w 2009 roku
 - h^+ , h^- (H.P.Dembinski, M.Unger – KIT) z π^- C @ 158 GeV/c
 - h^+ , h^- (H.P.Dembinski, M.Unger – KIT) z π^- C @ 350 GeV/c
 - π^- (**A.Aduszkiewicz – UW**, S.M.Puławski), π^+ , K^+ , K^- , p , \bar{p} (S.M.Puławski) z p p @ 20, 31, 40, 80, 158 GeV/c
- Plany
- Podsumowanie

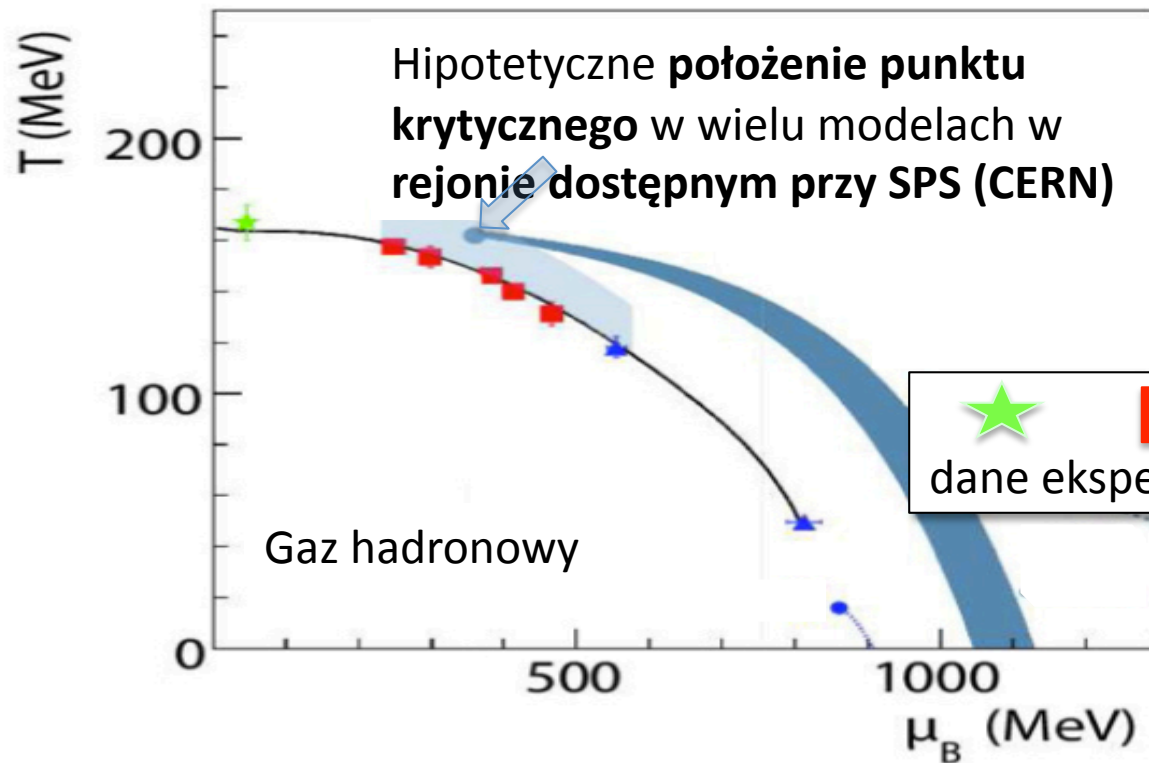
***Na czerwono punkty w których znaczący wkład mają/miały grupy warszawskie (NCBJ, UW)**

Cele (1)

- Poszukiwanie punktu krytycznego plazmy kwarkowo gluonowej (QGP)
- Badanie własności przejścia fazowego QGP
- Pomiary własności hadronów produkowanych z dużym pędem poprzecznym w zderzeniach $p p$, $p A$ oraz $A A$

Cele (1)

- Poszukiwanie punktu krytycznego i oznak przejścia fazowego

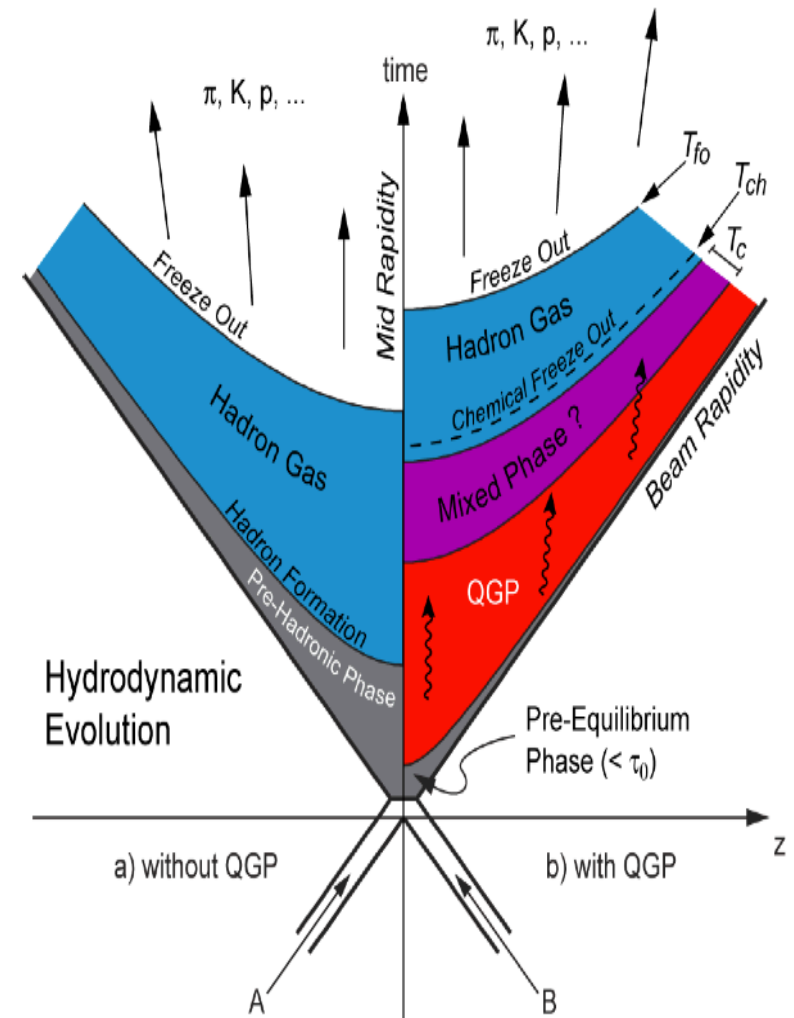


NA61/SHINE dokonuje badań używając różnych reakcji i różnych energii

Be+Li	
B+C	10, 20, 30,
Ar+Ca	40, 80, 158
Xe+La	AGeV
Pb+Pb	
Si+Si	

Cele (1)

- QGP – Plazma kwarkowo gluonowa
 - Nie da się badać bezpośrednio (w procesie hadronizacji następuje uwięzienie kwarków i gluonów z fireballu w hadronach)
 - Sygnatury QGP powinny być nie wrażliwe na proces hadronizacji
 - wzmocnienie dziwności, tłumienie powabu, produkcja fotonów bezpośrednich, produkcja par leptonowych, dynamiczne fluktuacje od przypadku do przypadku (event-by-event fluctuations)
 - żadna z tych sygnatur nie jest wystarczająca by samodzielnie potwierdzić istnienie QGP



Cele (1)

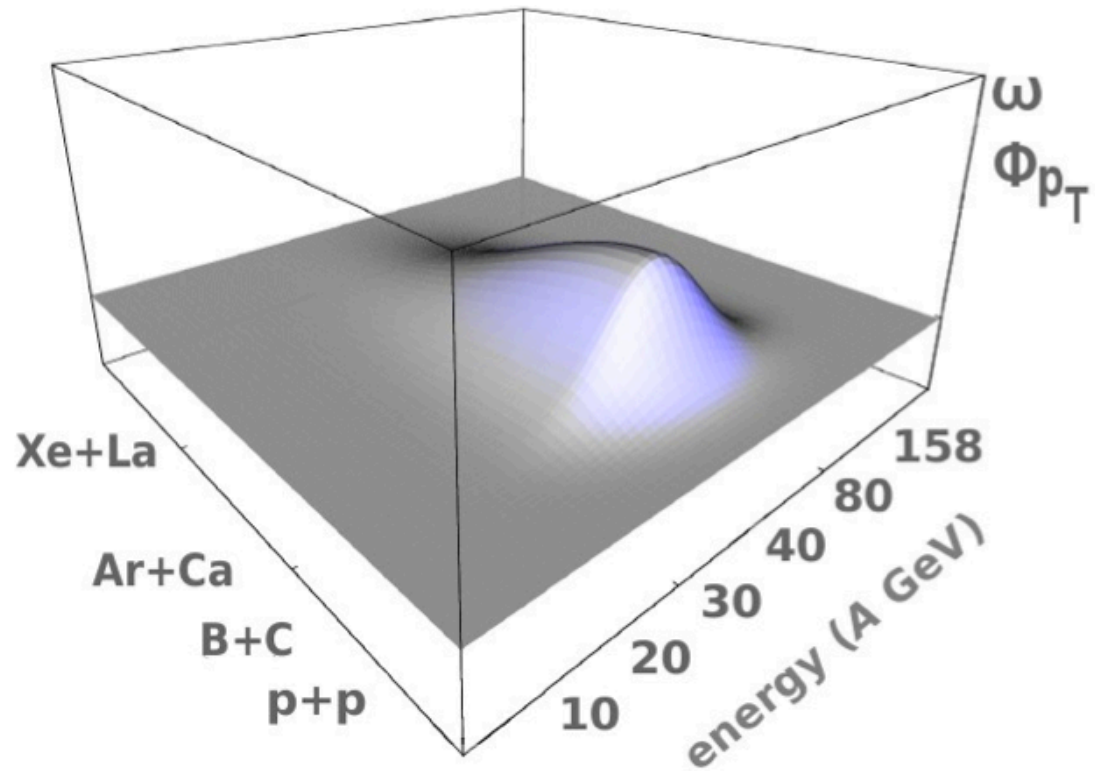
- Sygnatura QGP
 - **dynamiczne fluktuacje (niestatystyczne) od przypadku do przypadku (event-by-event fluctuations)**
 - Mogą one występować w takich wielkościach kinematycznych jak np. p_T , kąt azymutalny, energia itp.
 - Objawiają się min. jako nieoczekiwane maksima na rozkładach, lub zwiększona wariancja rozkładów w stosunku do przewidywań teoretycznych
 - Takie same zderzenia \rightarrow małe lub nawet zerowe fluktuacje
 - Dla zderzeń różniących się (np. w części powstanie QGP) \rightarrow duże fluktuacje
 - Dynamiczne fluktuacje = analogia pomiędzy materią jądrową a zwykłą materią \rightarrow krytyczna opalescencja

Cele (1)

- dynamiczne fluktuacje (niestatystyczne) od przypadku do przypadku (event-by-event fluctuations)

$$\phi_{p_T} = \sqrt{\frac{\langle (\sum_i p_{T_i} - \bar{p}_T)^2 \rangle}{\langle N \rangle}} - \sqrt{\langle p_T - \bar{p}_T \rangle^2}$$

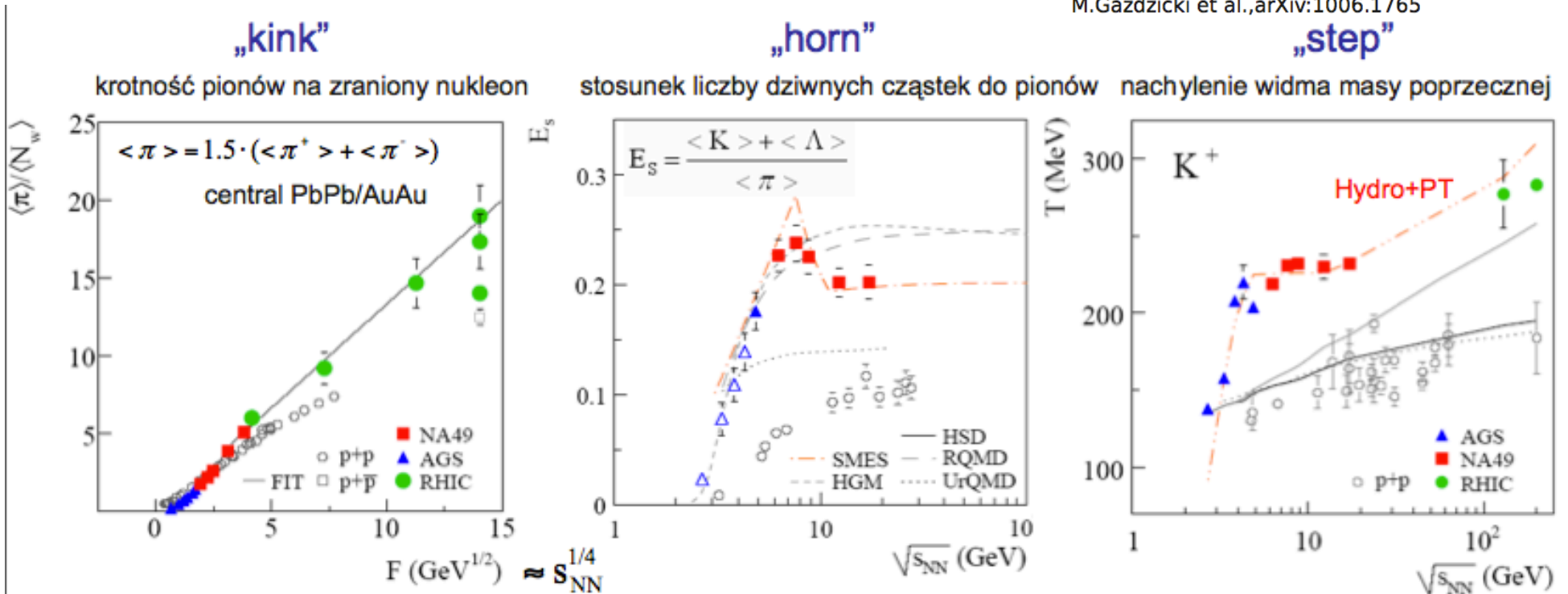
$$\omega = \frac{Var(n)}{\langle n \rangle}$$



Cele (1)

- Przewidywane i obserwowane sygnatury QGP oraz przejścia fazowego
 - Z modelu SMES: kink, horn, step

SMES model, M.Gazdzicki and M.Gorenstein, Acta Phys. Pol.30,2705(1999)
M.Gazdzicki et al., arXiv:1006.1765

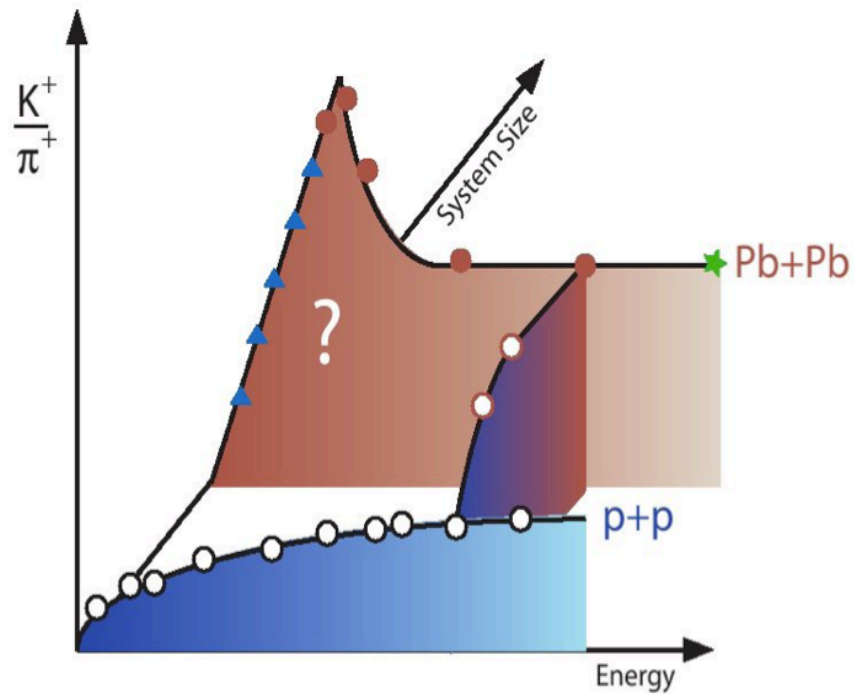


$$F \equiv \frac{(\sqrt{s_{NN}} - 2m_N)^{3/4}}{\sqrt{s_{NN}}^{1/4}} \approx s_{NN}^{1/4} \quad \sqrt{s} = \sqrt{(\sum E)^2 - (\sum \vec{p})^2}$$

NA49, C. Alt et al., PRC77,024903(2008)

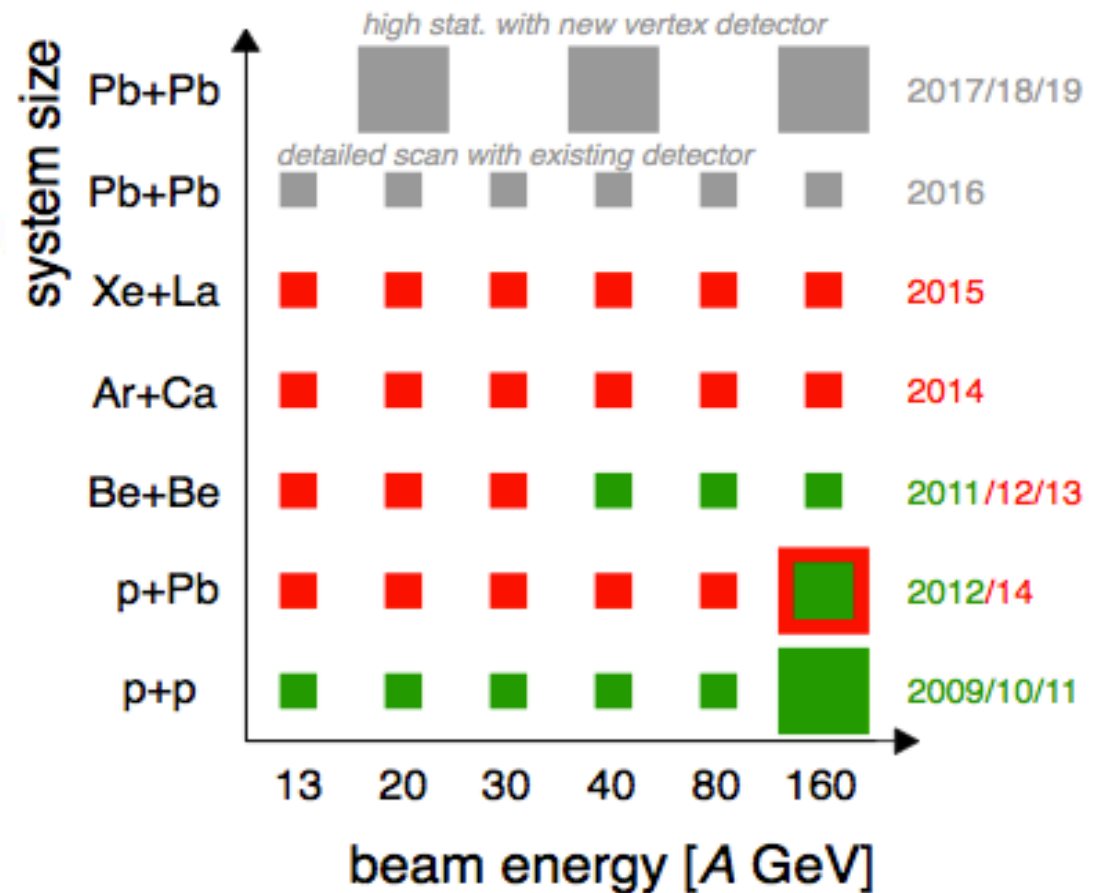
Cele (1)

Sygnatura „horn” (przed NA61/SHINE)



NA61/SHINE – program jonowy

(CERN-SPSC-2012-022)

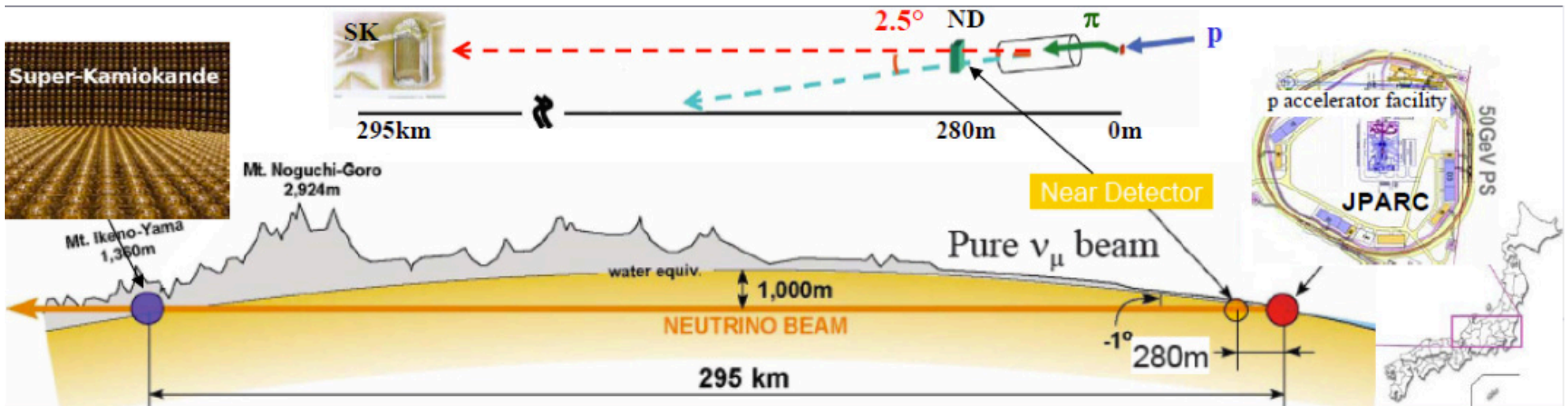


Cele (2)

- Eksperymenty neutrinowe przy akceleratorach
 - Wiązka neutronów produkowana jest głównie w następstwie **rozpadów π , K** powstałych na skutek oddziaływania protonów z tarczą
- Dane referencyjne dla T2K (eksperymentu neutrinowego z długą bazą)
 - Eksperyment **T2K v z oddziaływań pC (90cm) @ 31 GeV/c**
 - Wiedza na temat produkcji hadronów w wyniku oddziaływania pC jest konieczna aby zminimalizować błąd systematyczny

Cele (2)

- Dane referencyjne dla T2K



Cel T2K:

Precyzyjne pomiary parametrów oscylacji neutrin (θ_{13} , θ_{23})

Cel NA61/SHINE dla T2K:

Zmniejszenie błędów systematycznych związanych ze znajomością wiązki neutrin

Cele (2)

- Dane referencyjne dla T2K

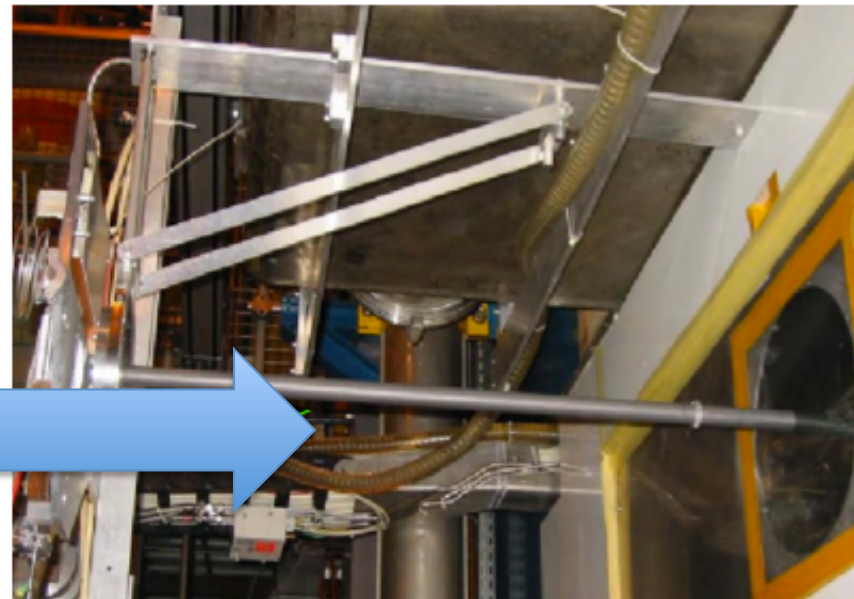
Cel T2K:

Precyzyjne pomiary parametrów oscylacji neutrin (θ_{13} , θ_{23})

Cel NA61/SHINE dla T2K:

Zmniejszenie błędu systematycznego związanego ze znajomością wiązki neutrin

W 2007 oraz 2009 roku zebraliśmy 6M przypadków pC @ 31 GeV/c dla cienkiej tarczy (2cm) oraz 14M przypadków dla repliki tarczy T2K (90cm)

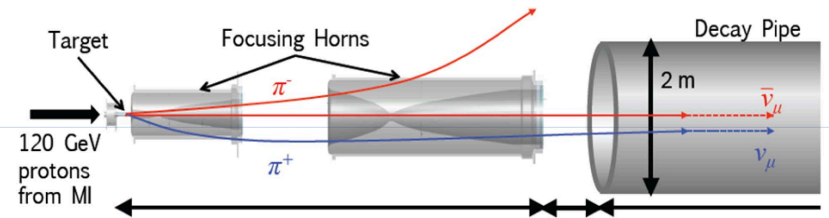


Cele (2)

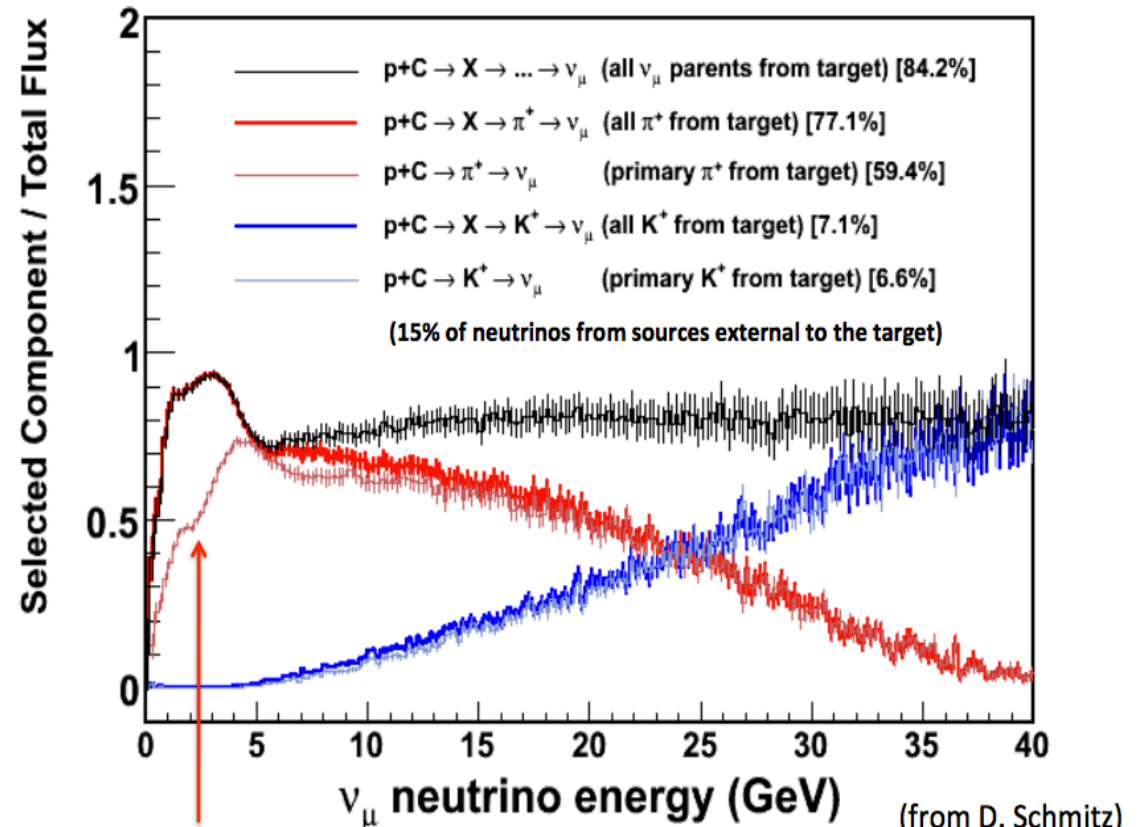
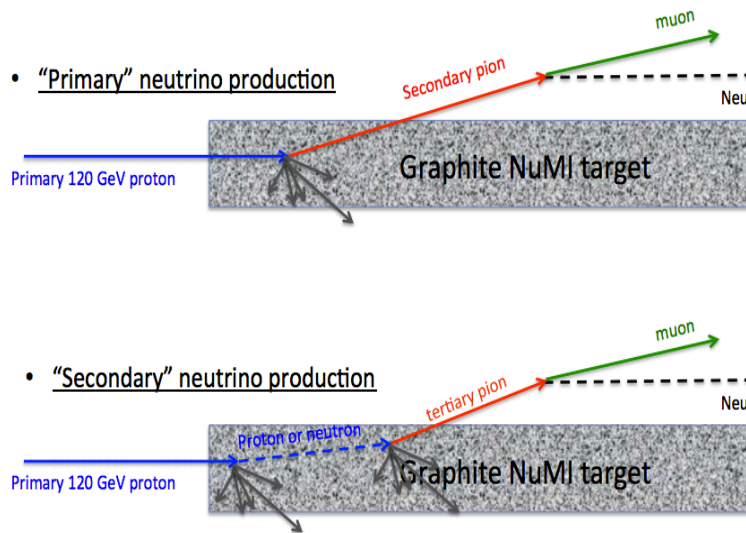
- Dane referencyjne dla przyszłych eksperymentów neutrinowych
- Fermilab neutrino program
 - Wiązka protonów **120 GeV** (NuMI)
 - MINOS+
 - Pomiar w dwóch detektorach (bliski-daleki) na osi wiązki. Tarcza węglowa
 - MINERVA
 - Pomiar przekrojów czynnych. Tarcza węglowa
 - NOVA
 - Pomiar w dwóch detektorach (bliski-daleki) na wiązce pozaosiowej. Tarcza węglowa.
 - LBNE
 - Daleki detektor na osi wiązki. Tarcza węglowa
 - Wiązka 8 GeV (?)
 - MicroBooNE

Cele (2)

- NuMI (pC (95cm) @120GeV)



Neutrino Production

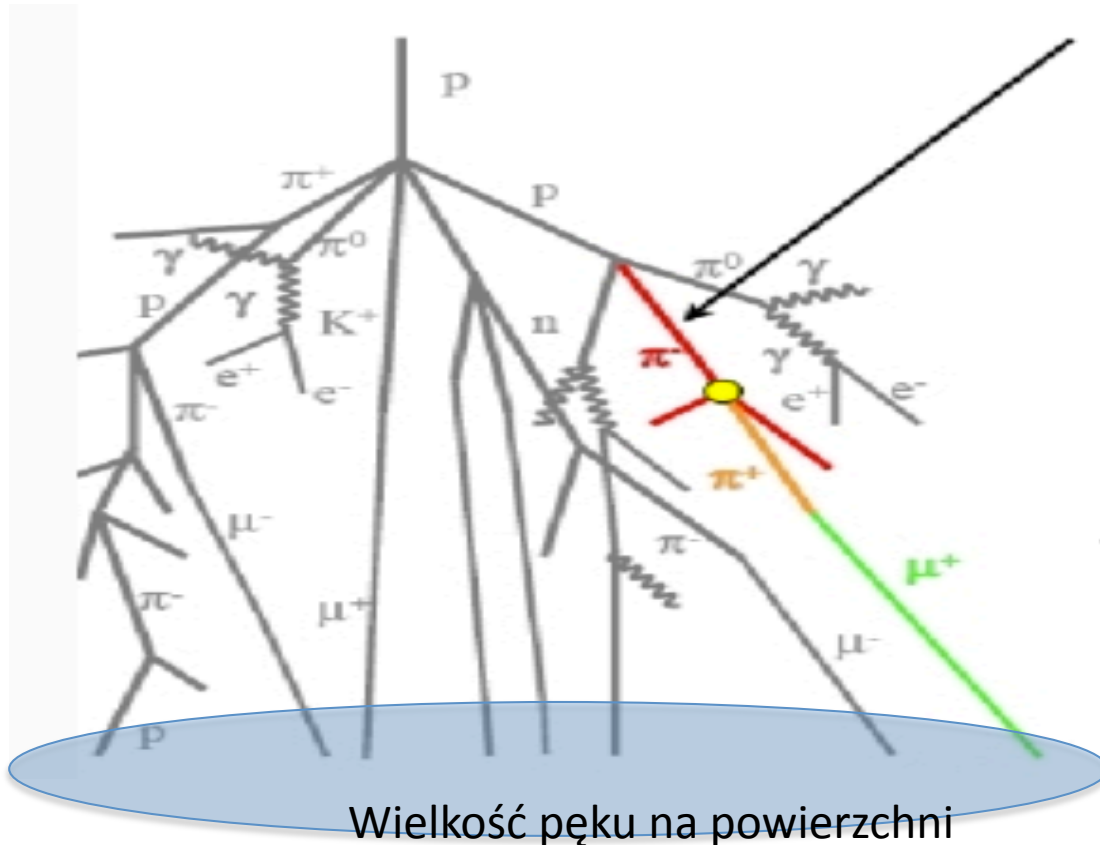


This is the piece one directly constrains with the NA49 data, though in a slightly model dependent way since it is at 158 GeV/c

Cele (3)

Poprawa MC za pomocą wyników z NA61/SHINE

Mierzona składowa mionowa
pęku atmosferycznego
może być **wykorzystana do
oszacowania rodzaju oraz
energii pierwotnej cząstki**
→ Konieczne dobre
zrozumienie produkcji w
oddziaływaniach hA



Przegląd wyników eksperymentalnych - niskie energie

Experiment or reference (beam)	p beam (GeV/c)	Target material	v/λ_{int} (%)	Secondary coverage
Baker (AGS)	10, 20, 30	Be, Al	Unknown	$1 < p < 17$ GeV/c, $\theta = 4.75^\circ, 9^\circ, 13^\circ, 20^\circ$
HARP (PS)	3, 5, 8, 12, 15	Be, C, Al, Cu, Sn, Ta, Pb, N, O, H, D	2, 5, 100	$0.75 < p < 6.5$ GeV/c, $30 < \theta < 210$ mrad and $0.1 < p < 0.8$ GeV/c, $350 < \theta < 2150$ mrad
Marmer (ANL)	12.3	Be, Cu	10	$p = 0.5, 0.8, 1.0$ GeV/c, $\theta = 0^\circ, 5^\circ, 10^\circ$
Cho (ANL)	12.4	Be	4.9, 12.3	$2 < p < 6$ GeV/c, $0^\circ < \theta < 12^\circ$
Lundy (ANL)	12.4	Be	25, 50, 100	$1 < p < 12$ GeV/c, $2^\circ < \theta < 16^\circ$
Asbury (ANL)	12.5	Be	4.9, 12.3	$p = 3, 4, 5$, $\theta = 12^\circ, 15^\circ$
Abbot (AGS)	14.6	Be, Al, Cu, Au	1 – 2	$0 < p < 8$ GeV/c, $\theta = 5^\circ, 14^\circ, 24^\circ, 34^\circ, 44^\circ$
Allaby (PS)	19.2	Be, Al, Cu, Pb, B ₄ C	1 – 2	$p = 6, 7, 10, 12, 14$ GeV/c, $\theta = 12.5, 20, 30, 40, 50, 60, 70$ mrad
Eichten (PS)	24	Be, B ₄ C, Al, Cu, Pb, C	1-2	$4 < p < 18$ GeV/c, $17 < \theta < 127$ mrad

Przegląd wyników eksperymentalnych - niskie energie

Experiment or reference (beam)	p beam (GeV/c)	Target material	ν/λ_{int} (%)	Secondary coverage
Baker (AGS)	10, 20, 30	Be, Al	Unknown	$1 < p < 17$ GeV/c,

- Nieliczne eksperymenty używające spektrometrów jednoramiennych (wyniki w bardzo ograniczonej przestrzeni fazowej) oraz komór pęcherzykowych (mała statystyka)
- Eksperyment HARP (@CERN) (maksymalny pęd protonu 12 GeV/c dla C)

Asbury (ANL)	12.5	Be	4.9, 12.3	$p = 3, 4, 5, \theta = 12', 15'$
Abbot (AGS)	14.6	Be, Al, Cu, Au	1 – 2	$0 < p < 8$ GeV/c, $\theta = 5^\circ, 14^\circ, 24^\circ, 34^\circ, 44^\circ$
Allaby (PS)	19.2	Be, Al, Cu, Pb, B ₄ C	1 – 2	$p = 6, 7, 10, 12, 14$ GeV/c, $\theta = 12.5, 20, 30, 40, 50, 60, 70$ mrad
Eichten (PS)	24	Be, B ₄ C, Al, Cu, Pb, C	1-2	$4 < p < 18$ GeV/c, $17 < \theta < 127$ mrad

Przegląd wyników eksperymentalnych - **wysokie energie**

Experiment or reference (beam)	p beam (GeV/c)	Target material	t/λ_{int} (%)	Secondary coverage
MIPP E907 (Fermilab)	60, 120	C	0.9 – 3.5	$\cos \theta$ [0.79, 0.99]
NA49 (SPS)	158	C	1.5	$0.05 < p_T < 1.8$ GeV/c, $-0.1 < x_F < 0.5$
Baker (FNAL)	200, 300	Be	50	$\theta = \sim 3$ mrad, $60 < p < 370$ GeV/c
Baker (FNAL)	400	Be	75	$\theta = 3.6$ mrad, $23 < p < 197$ GeV/c
Barton (FNAL)	100	C, Al, Cu, Ag, Pb	1.6 – 5.6	$0.3 < x_F < 0.88$, $0.18 < p_T < 0.5$ GeV/c
Atherton (SPS)	400	Be	10, 25, 75, 125	$x_F = 0.15, 0.30, 0.50, 0.75$, $p_T = 0, 0.3, 0.5$ GeV/c
NA56/SPY (SPS)	450	Be	25, 50, 75	$x_F = 0.016, 0.022, 0.033, 0.044, 0.067, 0.089, 0.15, 0.30$, $p_T = 0, 75, 150, 225, 375, 450, 600$ MeV/c

Przegląd wyników eksperymentalnych - **wysokie energie**

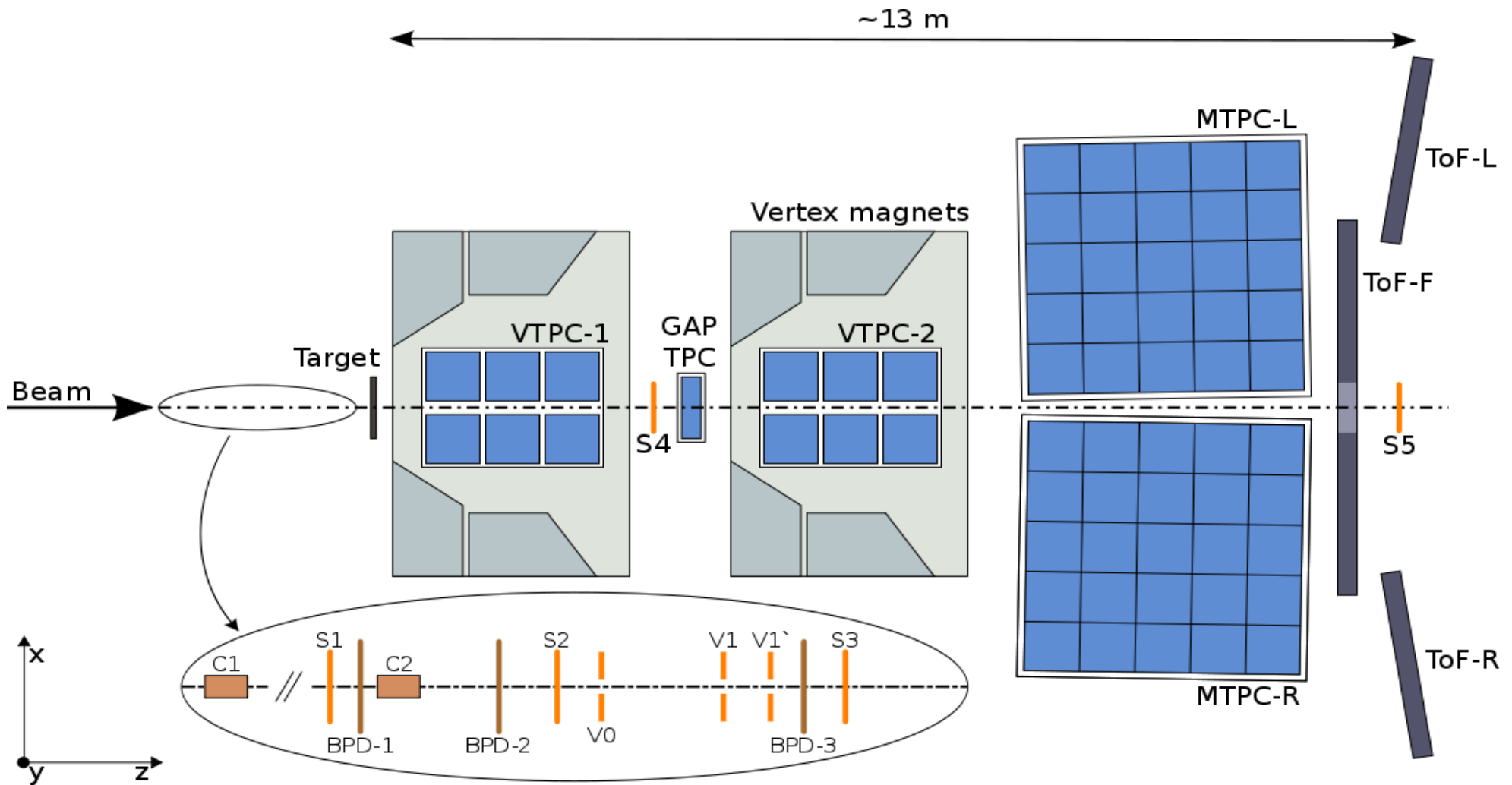
Experiment or reference	p beam (GeV/c)	Target material	t/λ_{int} (%)	Secondary coverage
-------------------------	----------------	-----------------	-----------------------	--------------------

- Wyniki NA49 (poprzednika NA61/SHINE) przy pędzie protonu 158 GeV/c
- Wyniki z eksperymentu MIPP jedynie jako wyniki wstępne (60 i 120 GeV/c). (nie zostały jeszcze opublikowane)

• Rejon pomiędzy 24 GeV/c a ~100 GeV/c nie był pokryty przez pomiary

				pT=0, 75, 150, 225, 375, 450, 600 MeV/c
--	--	--	--	---

Detektor NA61/SHINE



System Wyzwalania (pC@31 GeV/c)



2007 - selekcja p celujących w tarczę

$$S1 * S2 * \overline{V0} * \overline{V1} * \underbrace{C1 * C2}$$

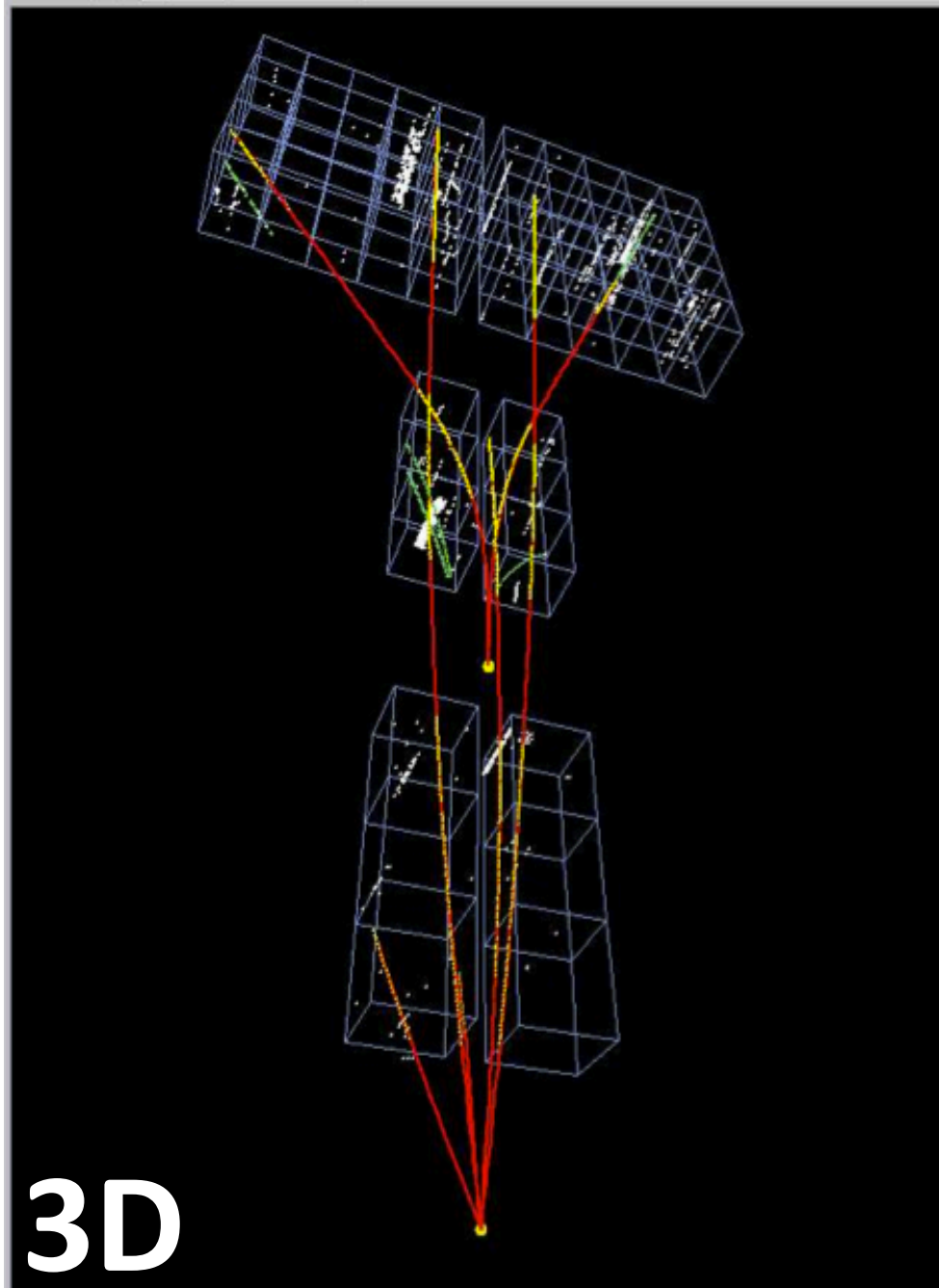
Oddziaływanie w tarczy $\overline{S4}$

System detektorów Cherenkova C1(CEDAR) i C2 (detektor progowy) → identyfikacja protonów. Po selekcji 99% cząstek to protony.

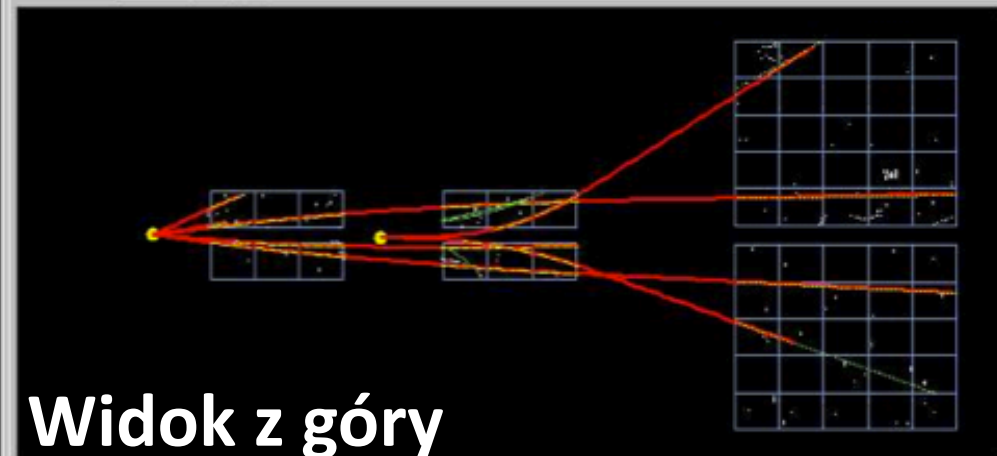
$$\sigma_{trig} = \frac{1}{(N_A / A)L\rho} \frac{N_{trig}}{N_{beam}}$$

$$\sigma_{trig} = 298.1 \pm 1.9 \pm 7.3 \text{ mb}$$

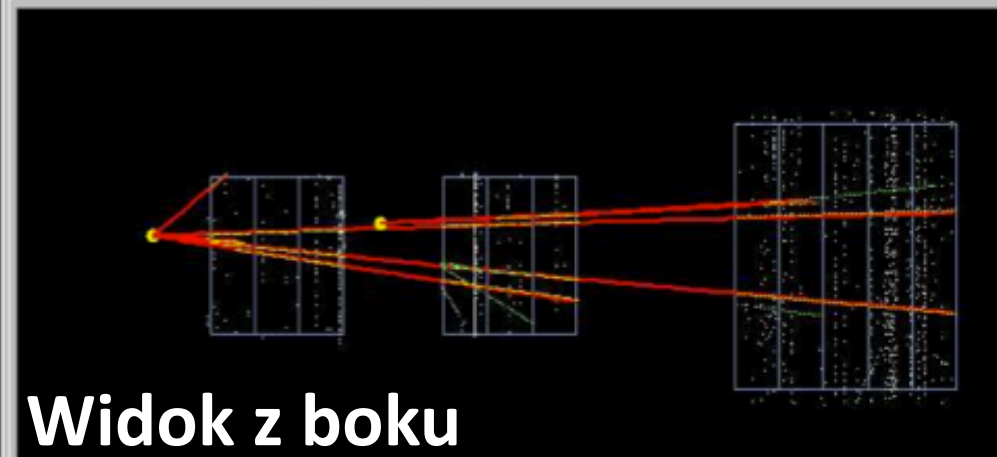
N_{trig} – liczba rejestrowanych przypadków, N_{beam} – liczba nadlatujących protonów,
 N_A - liczba Avogadro, A – liczba masowa, ρ – gęstość tarczy, L – długość tarczy



3D



Widok z góry



Widok z boku

Run: 5638

Event: 3411

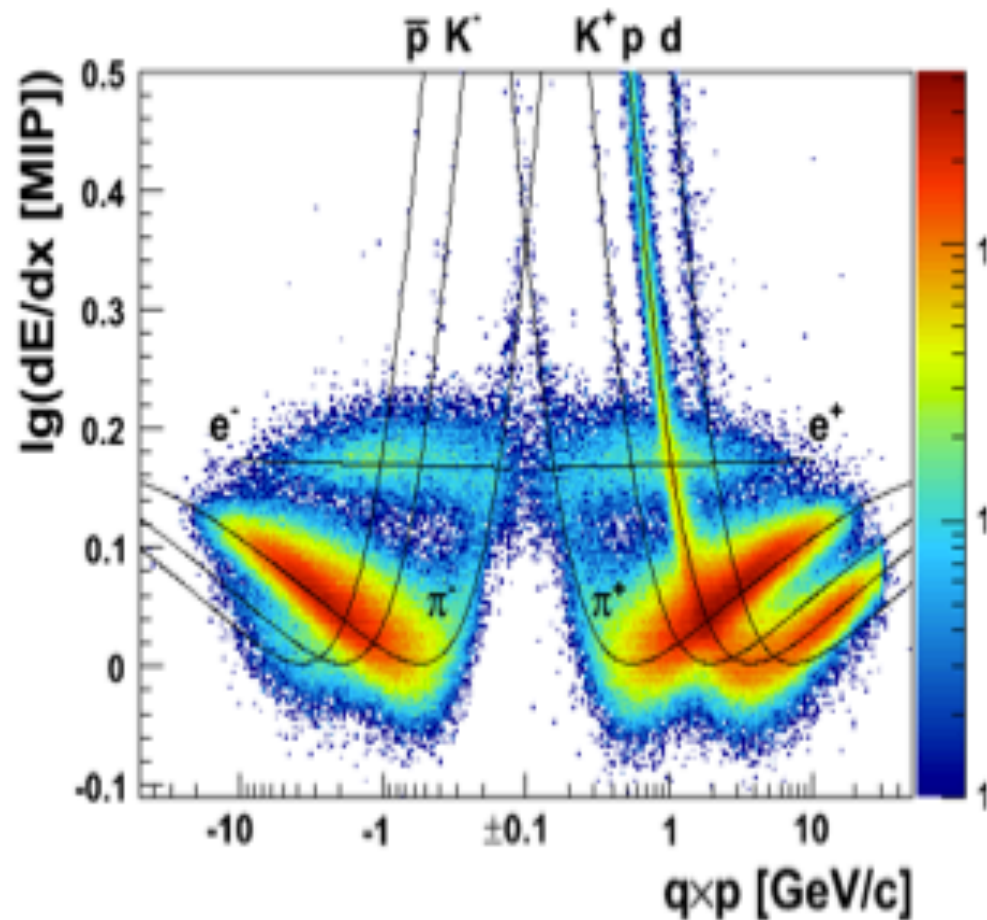
pC @ 31 GeV/c

Number of tracks: 6 (11)

Number of vertices: 2

Wyniki dla danych zebranych w 2007 roku (pC @ 31 GeV/c)

Analiza π^- metodą opartą na
poprawkach Monte Carlo
(T.Palczewski)

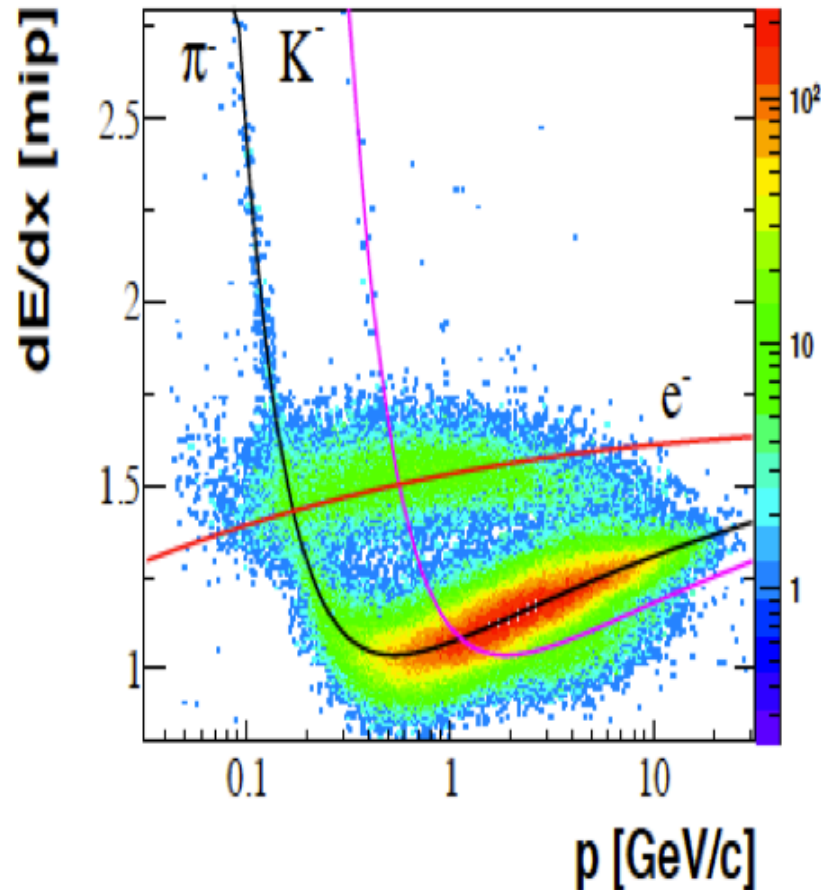


Możliwe jest uzyskanie przekrojów czynnych na produkcję π^- bez dokładnej identyfikacji.

W tym celu wykorzystuje się model **Monte Carlo (Venus + Geant 3.21)** aby uwzględnić:

- Domieszkę e^- , K^- , \bar{p}
- π^- nie z pierwotnego wierzchołka (np z rozpadu K_S^0 i Λ)
- Akceptację geometryczną
- Efektywność rekonstrukcji
- Rozmycie pomiarowe

Analiza π^- metodą opartą na poprawkach Monte Carlo



$p > 200 \text{ MeV}/c \rightarrow \mathbf{N(e^+) \approx N(e^-)} \rightarrow$
pochodzenie z rozpadów mezonów i z konwersji.

- $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ i następnie konwersje (dla 2 cm tarczy z około 6.8% π^0 powstaje para $e^+ e^-$).
- Kolejnymi źródłami są Dalitzowski rozpad π^0 , rozpady η , ρ .
- $N(e^-)$ z prostych oszacowań $\sim \mathbf{8.8\% \pi^-}$ co potwierdzają dane.

Normalizacja

$$\sigma_{trig} = \frac{1}{(N_A / A) L \rho} \frac{N_{trig}}{N_{beam}}$$

N_{trig} – liczba zarejestrowanych przypadków,
 N_{beam} – liczba nadlatujących protonów,
 N_A liczba Avogadro, A – liczba masowa,
 ρ – gęstość tarczy, L – długość tarczy

Rejestrowane przypadki:

produkcja cząstek

oddziaływania kwazielastyczne

koherentne rozpraszanie elastyczne pod dużymi kątami $\rightarrow \sigma_{el, out of S4}$

$$\left. \begin{array}{l} \rightarrow \sigma_{prod} \\ \rightarrow \sigma_{qe} \end{array} \right\} \sigma_{inel}$$

Niektóre przypadki produkcji są tracone w wyniku oddziaływania wyprodukowanych cząstek z detektorem wetującym (S4) wykorzystywanym do określenia czy oddziaływanie zaszło w tarczy.

$$\sigma_{prod} = 0.769 * \sigma_{trig} = 229.3 \pm 1.9 \pm 9.0 \text{ mb}$$

Różniczkowy przekrój czynny na produkcję cząstki typu "x" (przykład dla zmiennej p)

$$\frac{d\sigma_x}{dp} = \frac{\sigma_{prod}}{1 - \varepsilon} \left(\frac{1}{N^I} \frac{\Delta n_x^I}{\Delta p} - \frac{\varepsilon}{N^R} \frac{\Delta n_x^R}{\Delta p} \right)$$

N – liczba przypadków, n – liczba cząstek
 I – z tarczą
 R – bez tarczy
 ε – stosunek prawdopodobieństw
 oddziaływania R do I

Normalizacja

Rejestrowane przypadki:

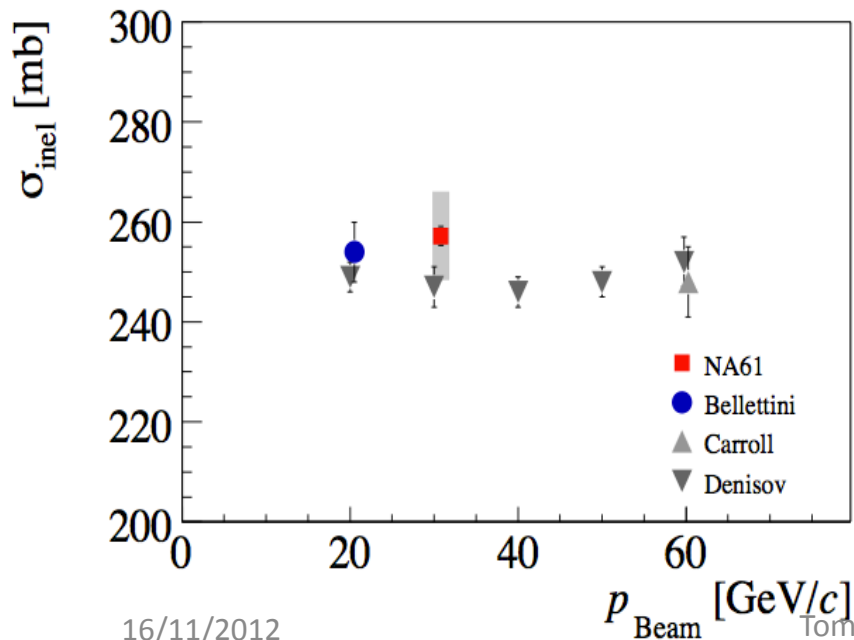
produkcja cząstek

oddziaływania kwazielastyczne

koherentne rozpraszanie elastyczne pod dużymi kątami $\rightarrow \sigma_{el, out of S4}$

$$\left. \begin{array}{l} \rightarrow \sigma_{prod} \\ \rightarrow \sigma_{qe} \end{array} \right\} \sigma_{inel}$$

Niektóre przypadki produkcji są tracone w wyniku oddziaływania wyprodukowanych cząstek z detektorem wetującym (S4) wykorzystywanym do określenia czy oddziaływanie zaszło w tarczy.



$$\sigma_{inel} = 0.863 * \sigma_{trig} = 257.2 \pm 1.9 \pm 8.9 \text{ mb}$$

$$\sigma_{prod} = 0.769 * \sigma_{trig} = 229.3 \pm 1.9 \pm 9.0 \text{ mb}$$

$$\sigma_{qe} = 27.9 \pm 1.5 \text{ (sys) z modelu Glaubera}$$

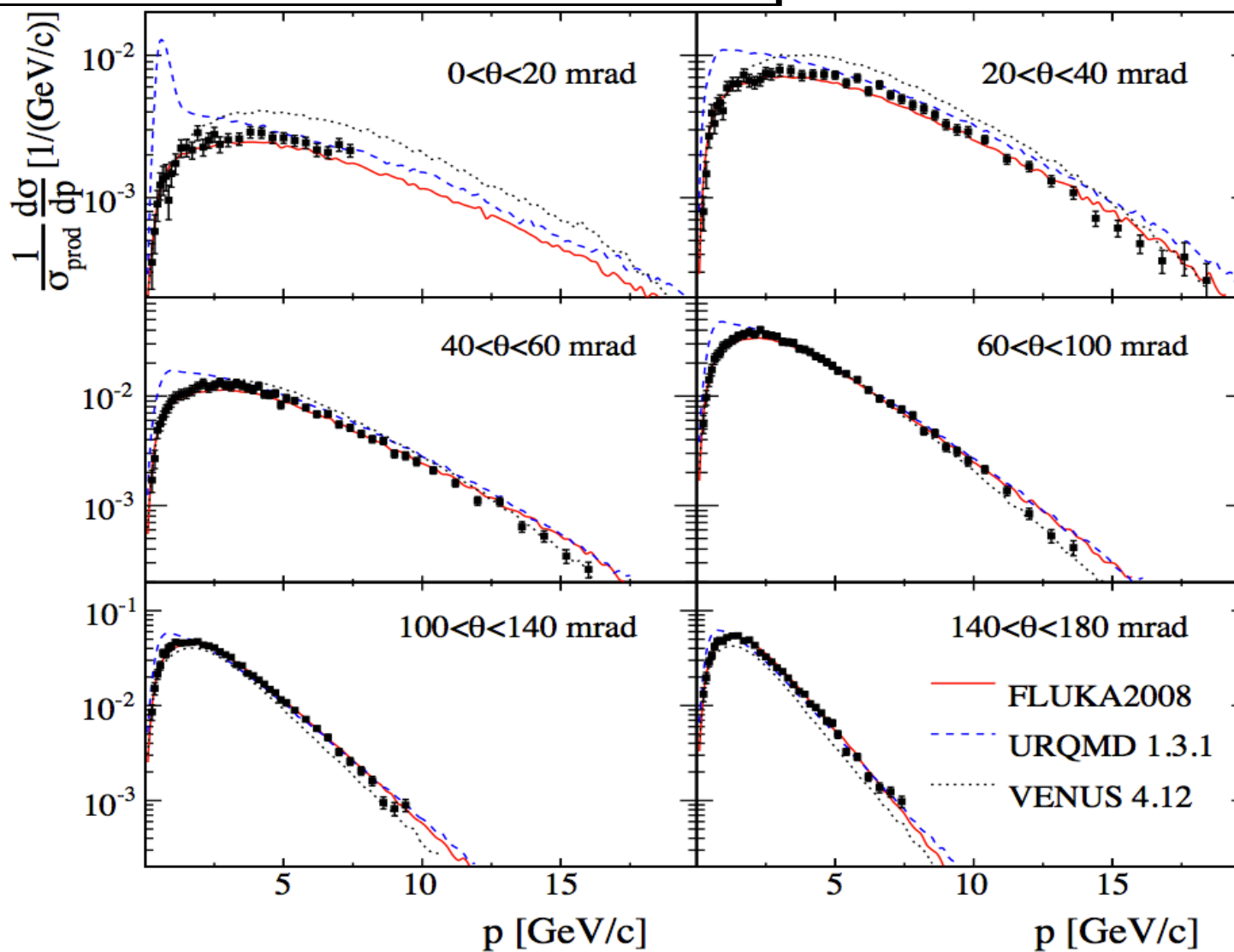
Pozostałe efekty uwzględnione za pomocą

Geant4

Wyniki – π^-

dn/dp versus p w przedziałach θ (1)

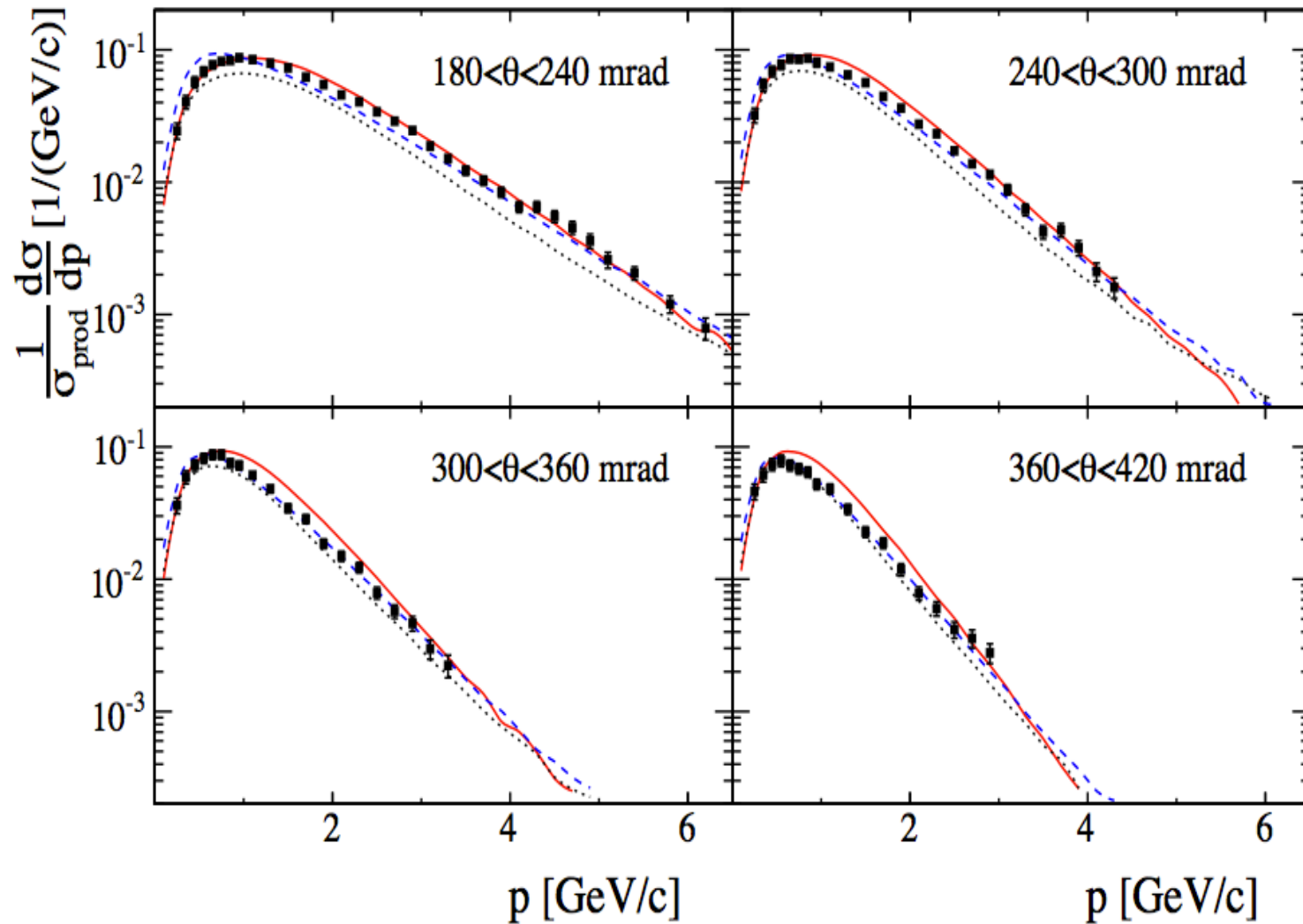
Phys. Rev. C 84 (2011)
034604



Wyniki – π^-

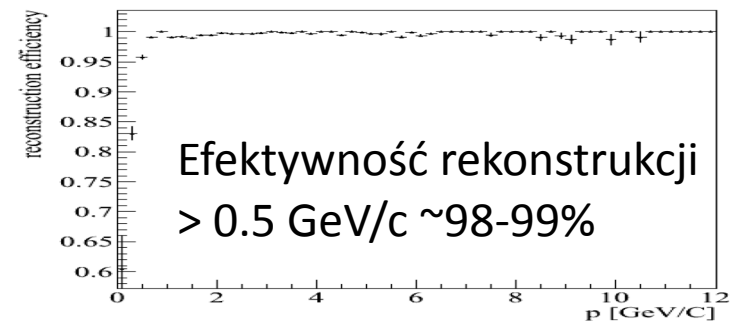
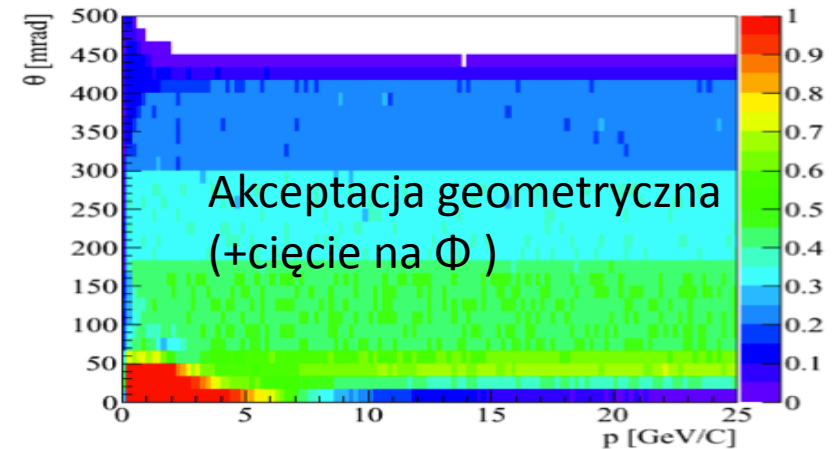
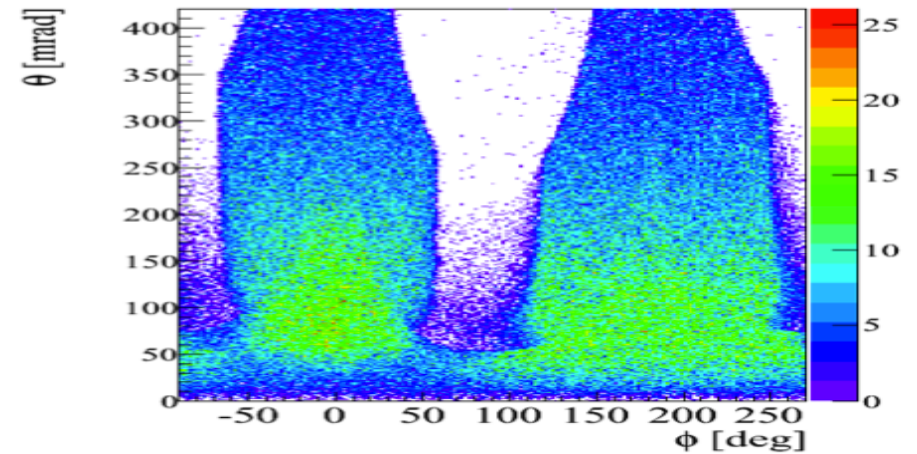
dn/dp versus p w przedziałach θ (2)

Phys. Rev. C 84 (2011)
034604



Błędy systematyczne

- Badałem:
 - Akceptację geometryczną
 - Efektywność rekonstrukcji
 - Rozpady cząstek pierwotnych (feedup)
 - Cząstki pochodzące z wtórnych wierzchołków zrekonstruowane jako pierwotne (feeddown)
 - Poprawki na elektrony, K^- , ...

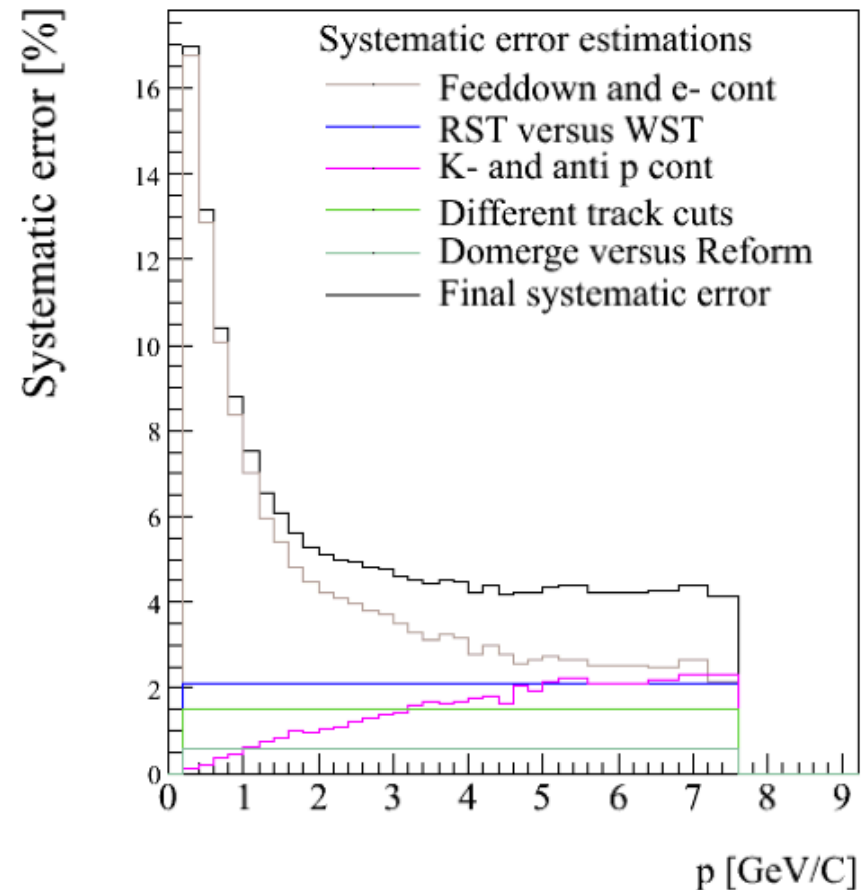


Błędy systematyczne

- Badałem:
 - Akceptację geometryczną
 - Efektywność rekonstrukcji
 - **Rozpady cząstek pierwotnych (feedup)**
 - **Ważna jest znajomość cząstek dziwnych**
 - Cząstki pochodzące z wtórnych wierzchołków zrekonstruowane jako pierwotne (feeddown)
 - **Poprawki na elektrony, K-, ...**
 - **Możliwość wykorzystania identyfikacji dE/dx**

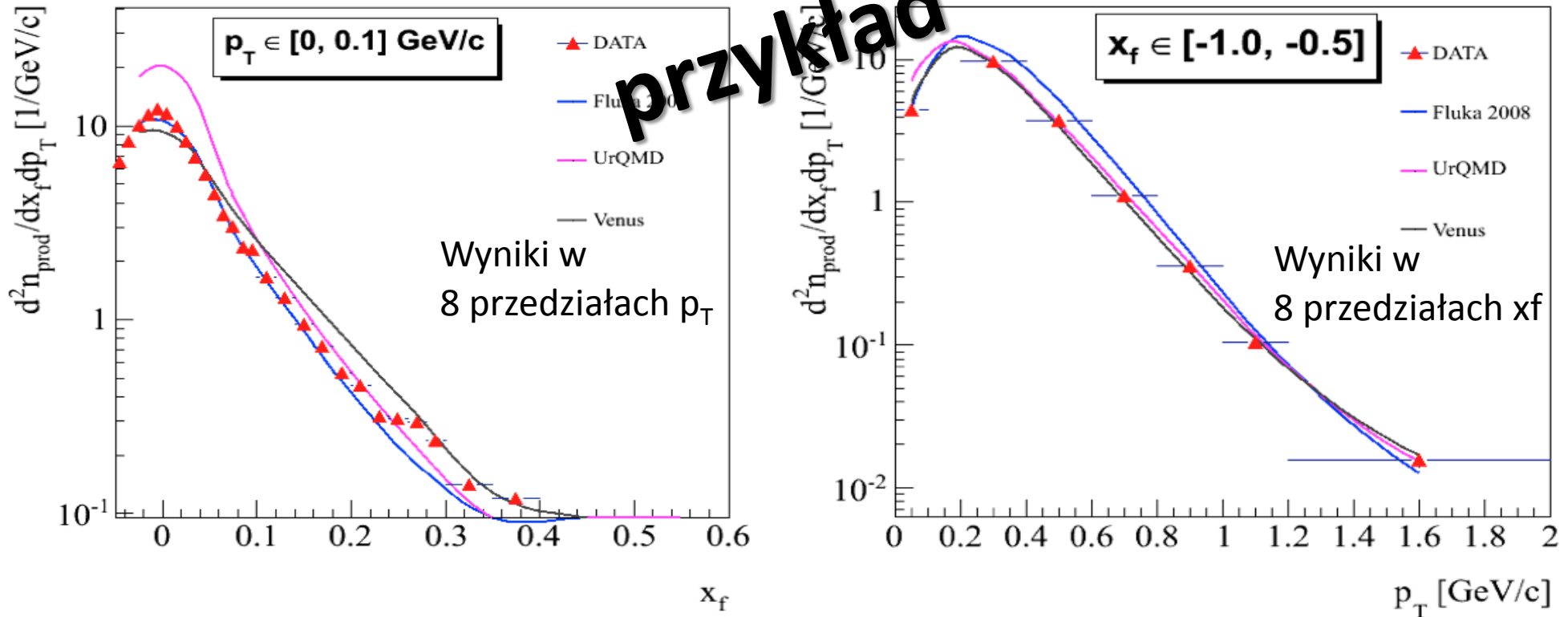
Błąd systematyczny dn/dp
[140, 180] mrad

przykład



Wyniki wstępne – π^-

$d^2n/dx_f dp_T$ versus x_f (p_T) w przedziałach p_T (x_f)



$$x_f = \frac{2p_L}{\sqrt{s}} \quad \text{gdzie } p_L \text{ i } \sqrt{s} \text{ w c.m.s układu nukleon-nukleon}$$

$$\sqrt{s} = \sqrt{(\sum E)^2 - (\sum \vec{p})^2}$$

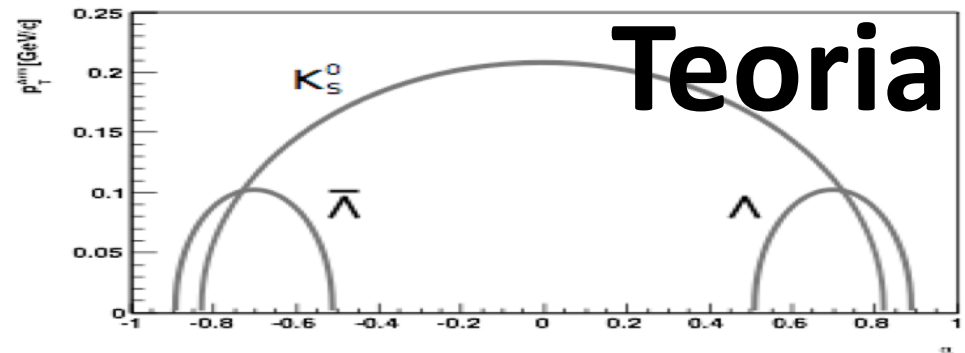
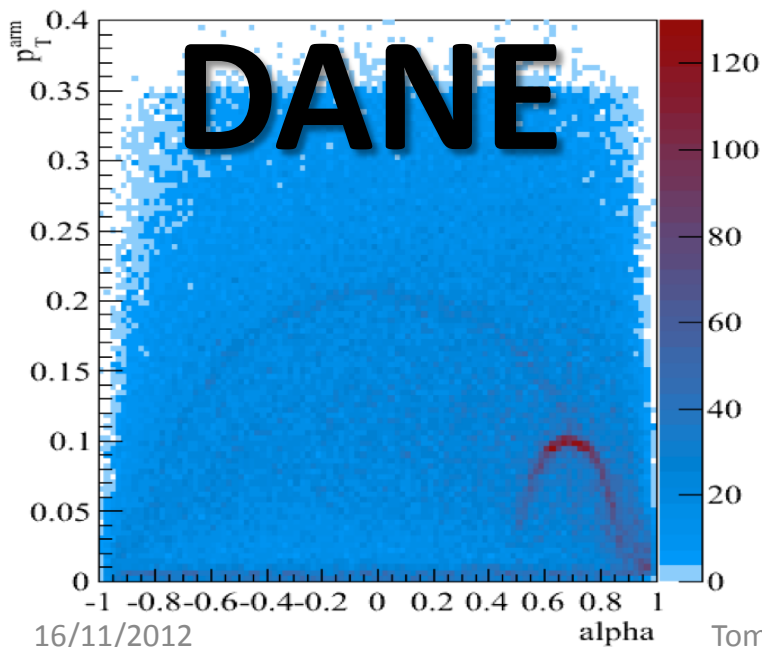
Analiza mezonów K^0_S oraz hiperonów Λ (T.Palczewski)

- **$K^0_S \rightarrow \pi^+ \pi^-$ (69.2% rozpadów)**
- **$\Lambda \rightarrow p \pi^-$ (63.9% rozpadów)**
- Analiza tych kanałów przeprowadzona była za pomocą badania rozkładów masy niezmienniczej produktów rozpadu

$$m_{inv} = \frac{1}{c^2} \sqrt{\left(\sum_i E_i\right)^2 - \left|\sum_i \vec{p}_i\right|^2 c^2}$$

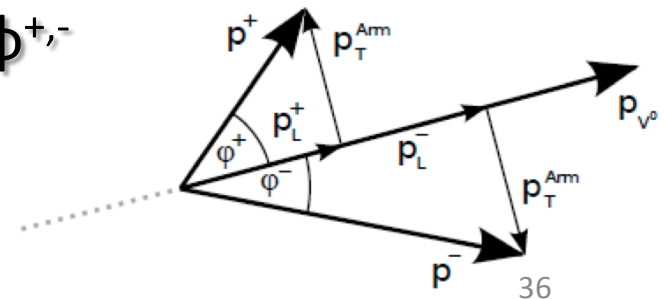
Wybór kandydatów na K_S^0 i Λ

- Szukano par cząstek przeciwnie naładowanych pochodzących z tego samego wierzchołka (tzw. V^0)
- Przeprowadzono szereg cięć oczyszczających zarejestrowaną próbkę danych (dokładny opis cięć wraz z porównaniami z MC w mojej rozprawie doktorskiej)
- **Wykorzystano zależność Armenterosa-Podolańskiego dla lepszej separacji kandydatów**

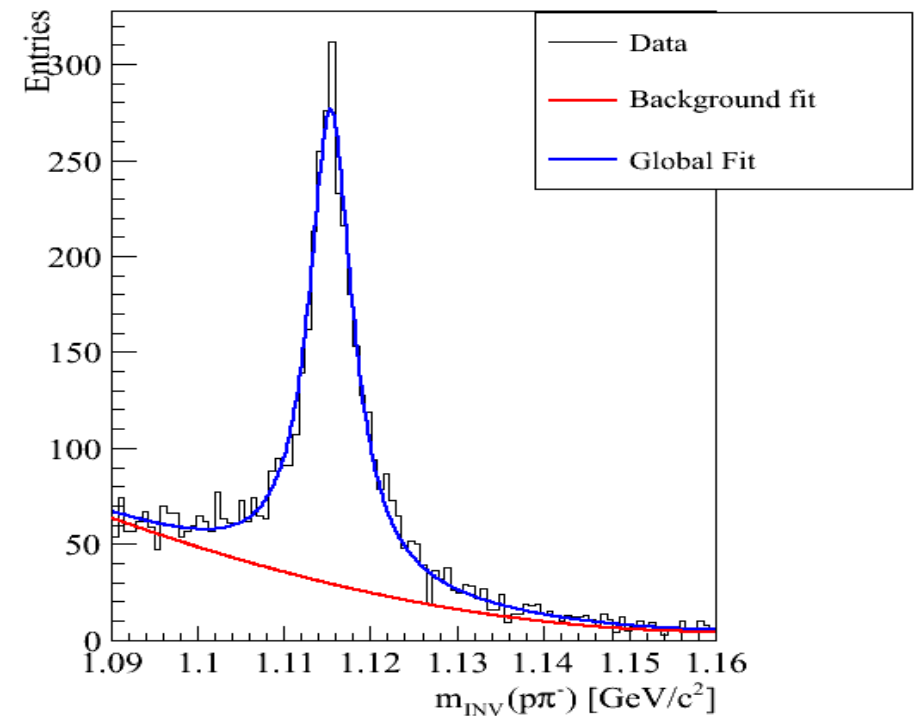
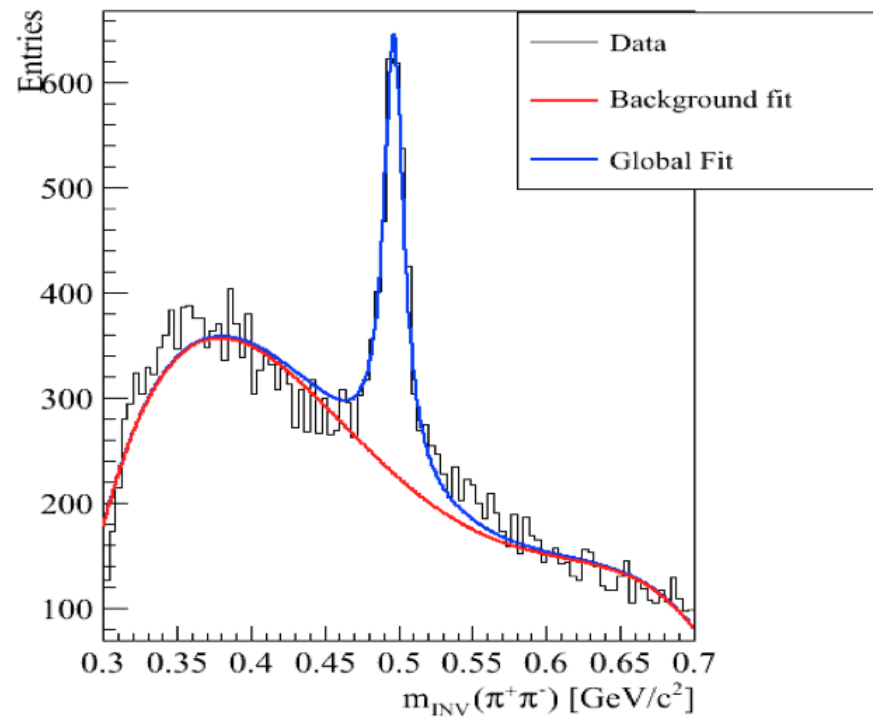


$$p_T^{\text{ARM}} = p^{+,-} \sin\phi^{+,-}$$

$$\alpha = \frac{p_L^+ - p_L^-}{p_L^+ + p_L^-}$$



Analiza masy niezmienniczej



Sygnal – funkcja Lorentza (Breita-Wignera)

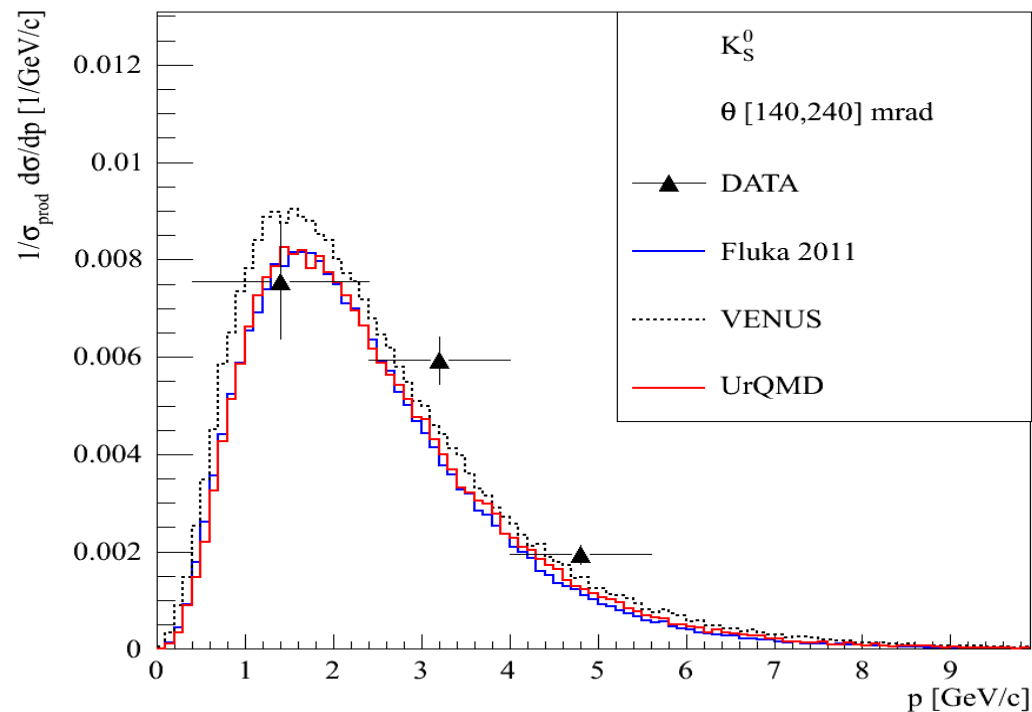
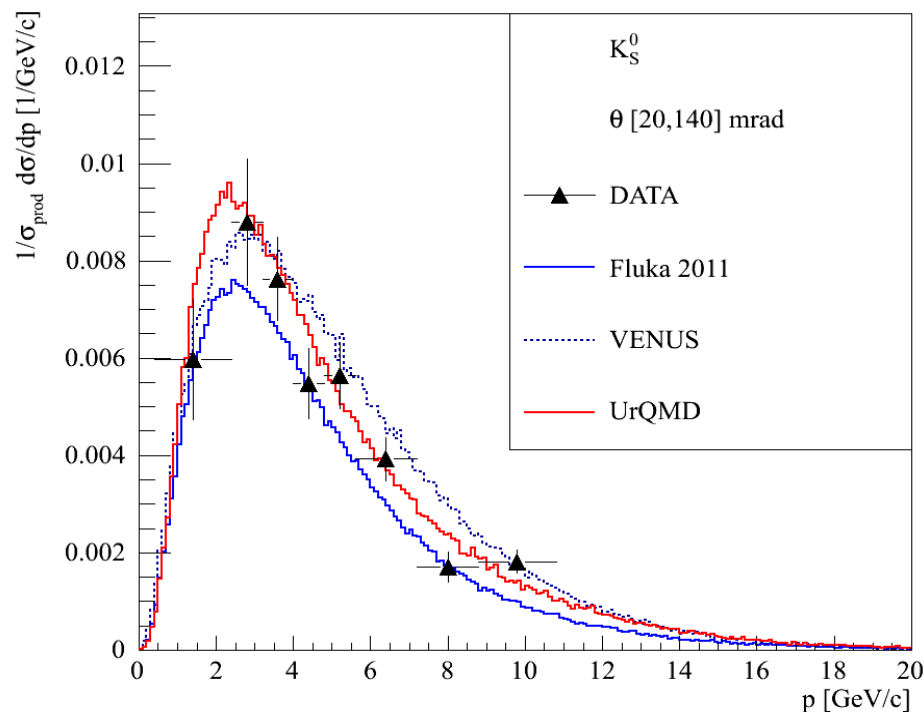
Tło – wielomian 4 rzędu

$$f(m_{inv}) = A \frac{\frac{1}{2} F}{(m_{inv} - m_0)^2 + \left(\frac{1}{2} F\right)^2}$$

A, F, m_0 parametry fitu

Wyniki wstępne - K_S^0

dn/dp versus p w przedziałach θ



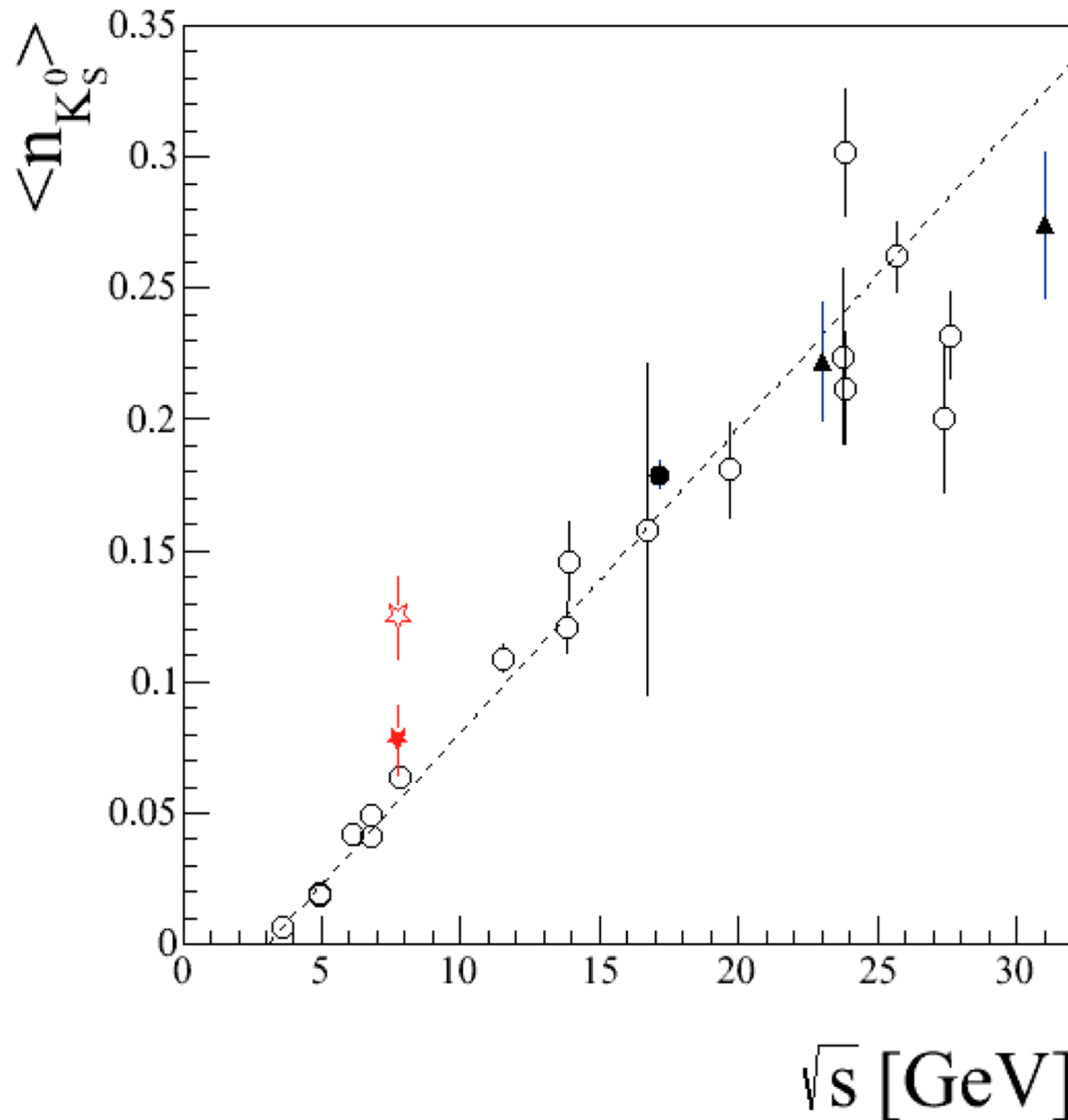
Średnia krotność produkcji mezonu K_S^0 w oddziaływaniu produkcji



$$\langle n_{K_S^0} \rangle = 0.125 \pm 0.007(stat) \pm 0.007(sys)$$

Inkluzywny przekrój czynny na produkcję K_S^0

$$\sigma_{K_S^0} = 25.58 \pm 1.85(stat) \pm 1.72(sys) [mb]$$

Średnia krotność produkcji K_S^0



 pC @ 31 GeV/c
 pC @ 31 GeV/c
przeskalowane
przez średnią
liczbę kolizji (1.6)

   pp

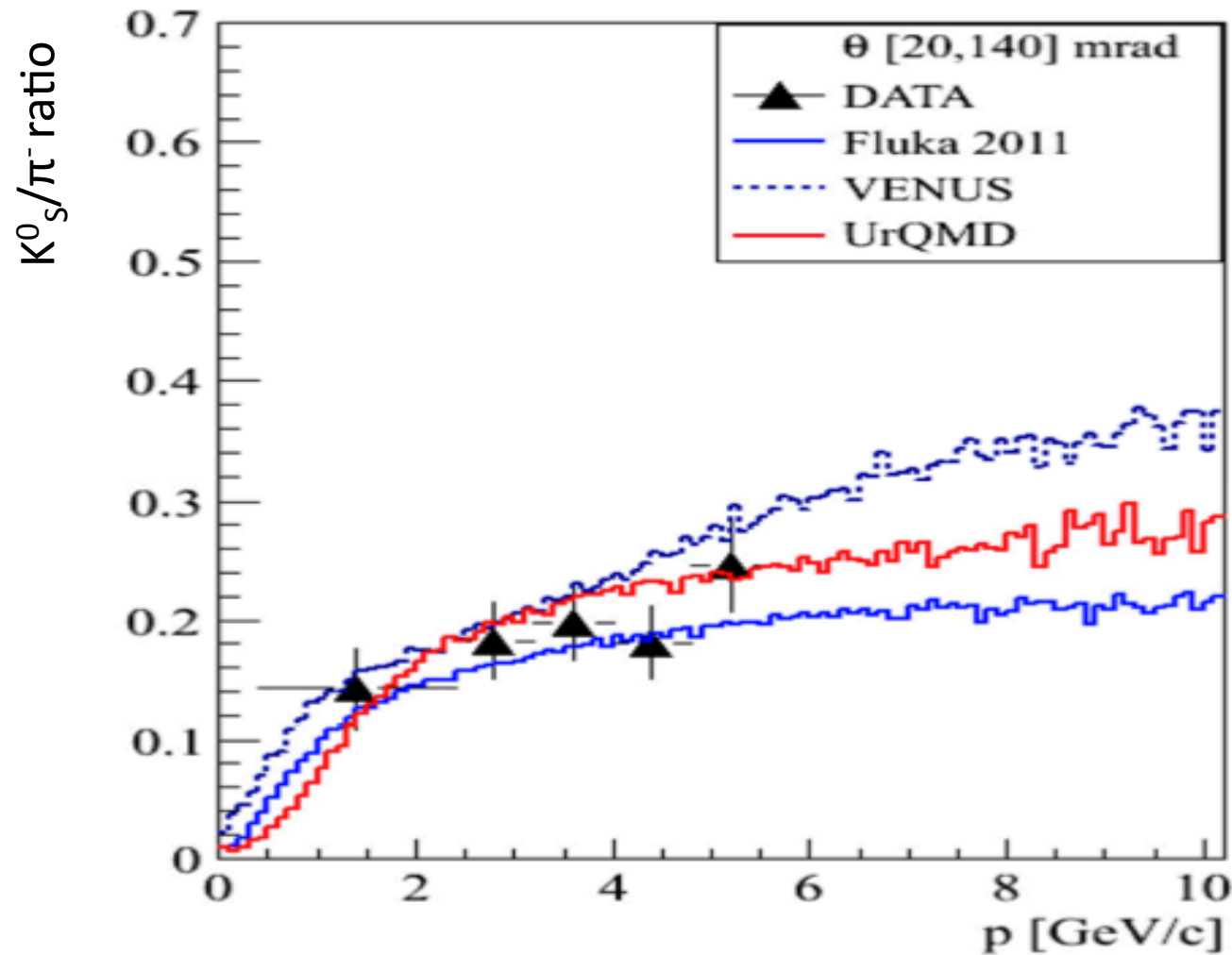
Kompilacja wyników na
podstawie T. Anticic (et al.).
CERN-PH-EP/2009-029, 2009.

K^0_s/π^- ratio

$$K^0 = \bar{s}d$$

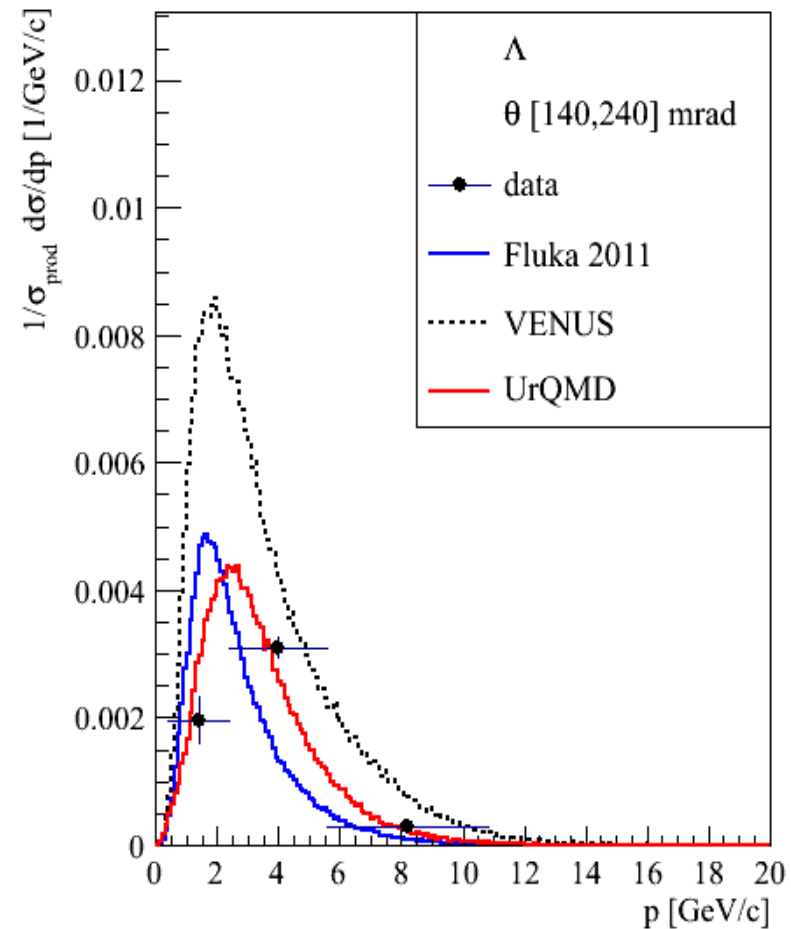
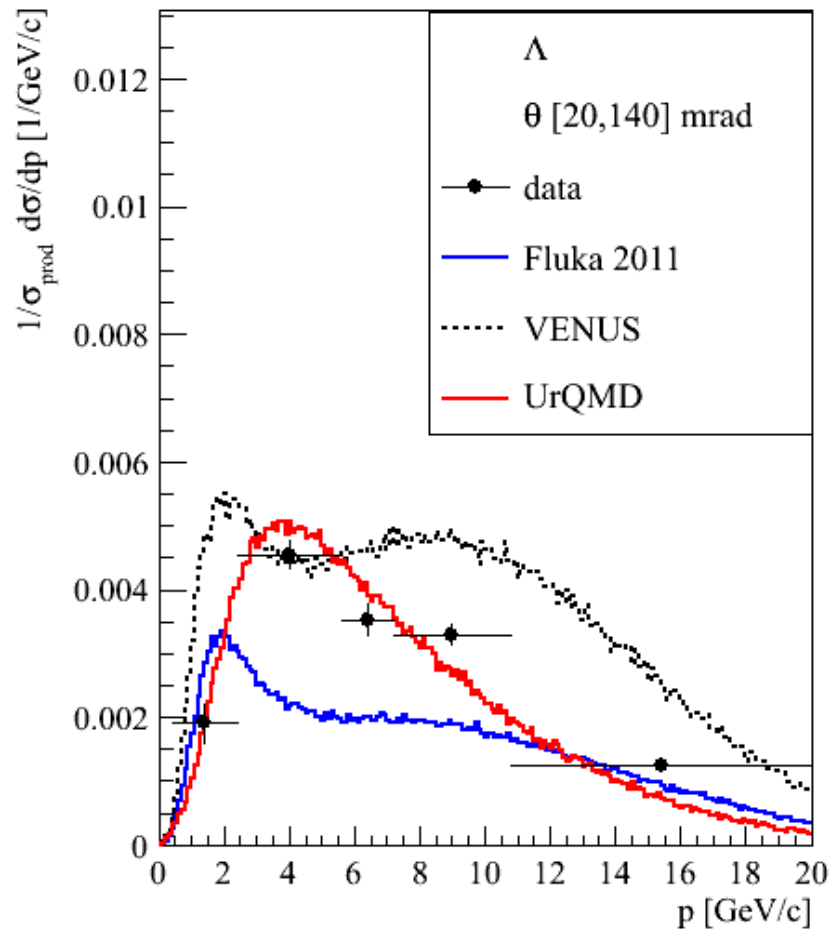
$$\pi^- = \bar{u}d$$

**Informacja
o tłumieniu
dziwności**



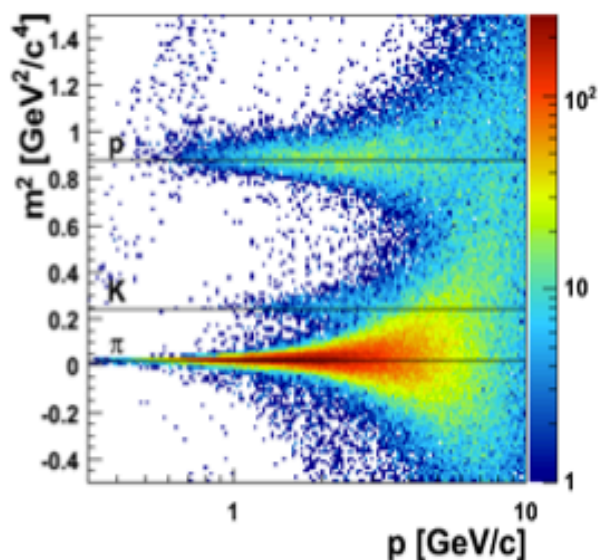
Wyniki wstępne – Λ

dn/dp versus p w przedziałach θ



Identyfikacja cząstek w TPC i TOF

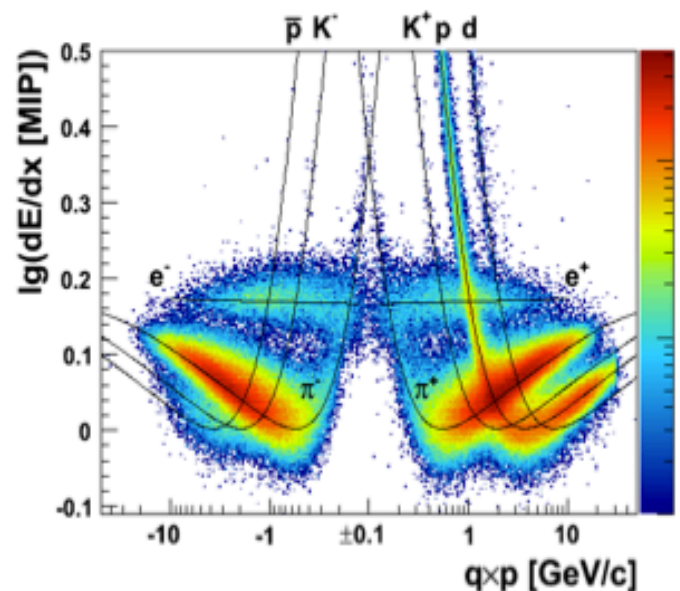
TOF



Pomiar czasu przelotu

Niskie i średnie pędy
> 0.8 GeV/c oraz < 6 GeV/c

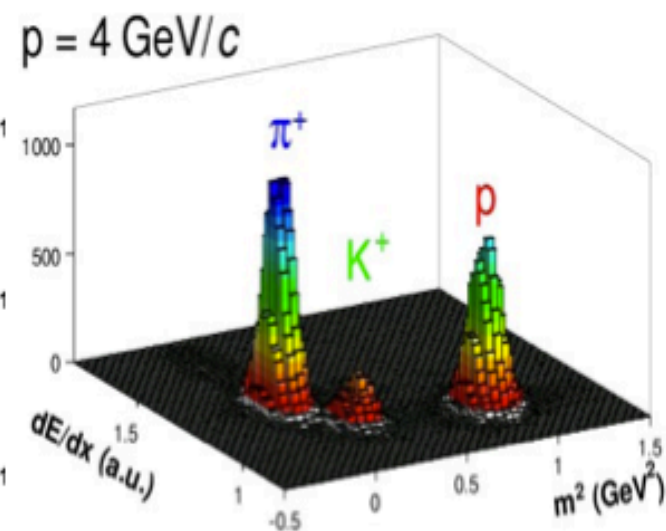
TPC



Pomiar dE/dx

Niskie i wysokie pędy
Poza rejonami przekrywania
się krzywych BB

TPC + TOF



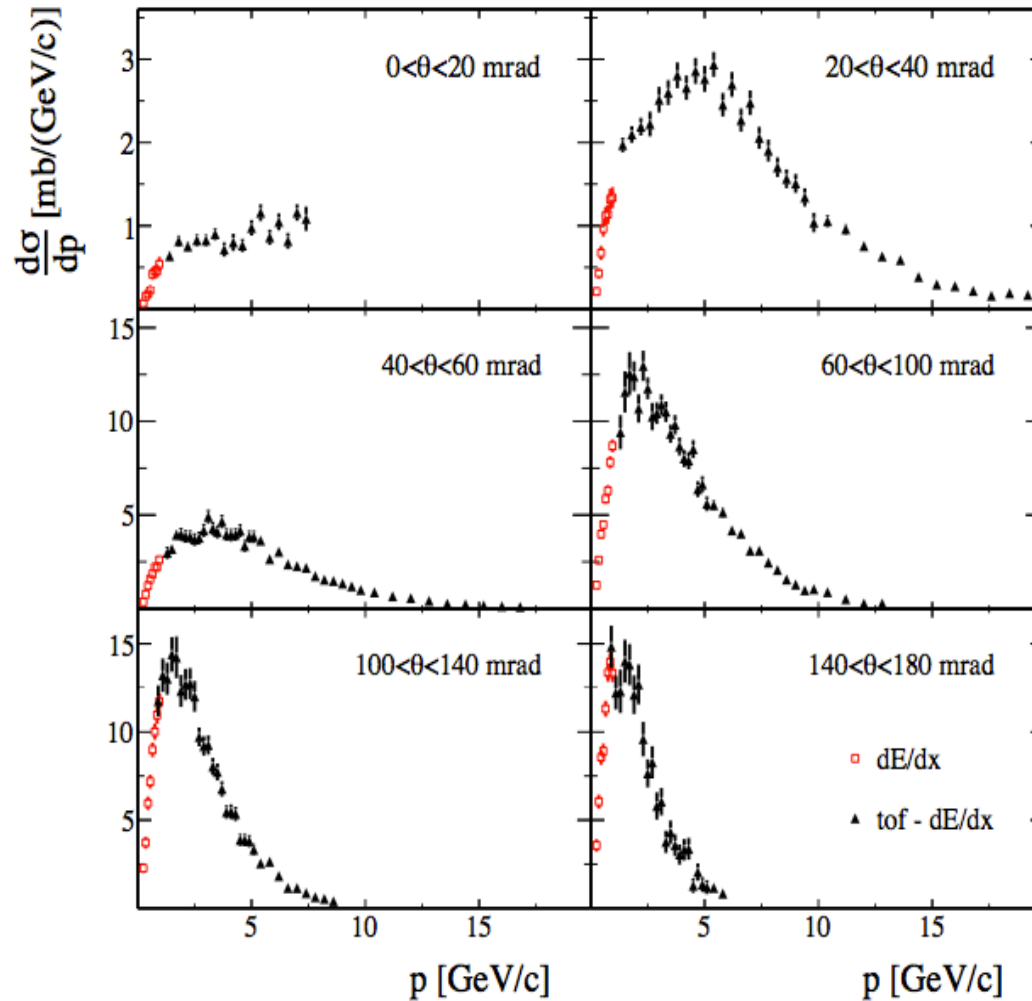
Połączenie obu metod

Zwiększenie możliwości
identyfikacji w rejonach
problematicznych dla
pojedynczych metod

Wyniki – π^+

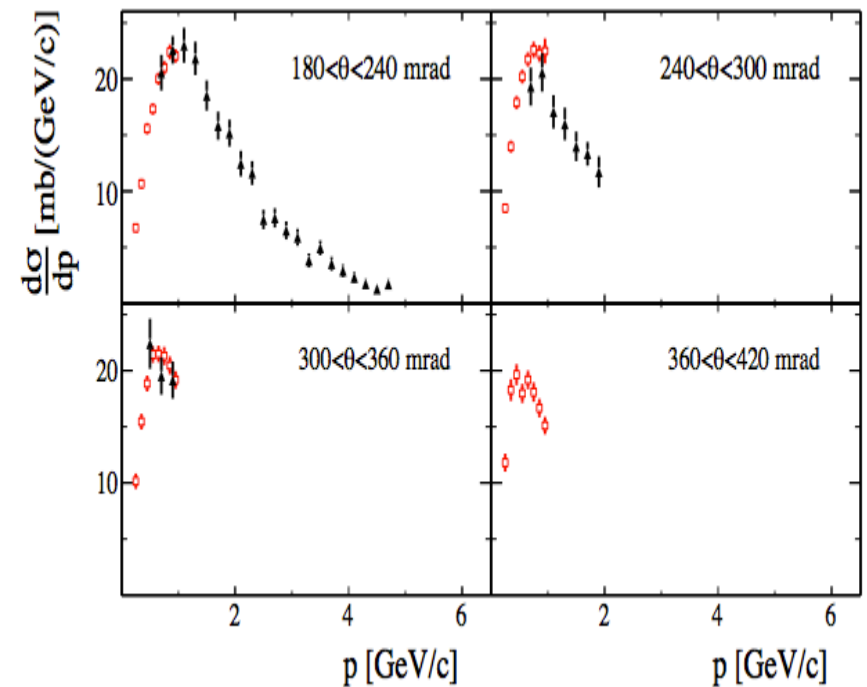
$d\sigma/dp$ versus p w przedziałach θ

Phys. Rev. C 84 (2011)
034604



S.Murphy – $dE/dx + \text{TOF}$

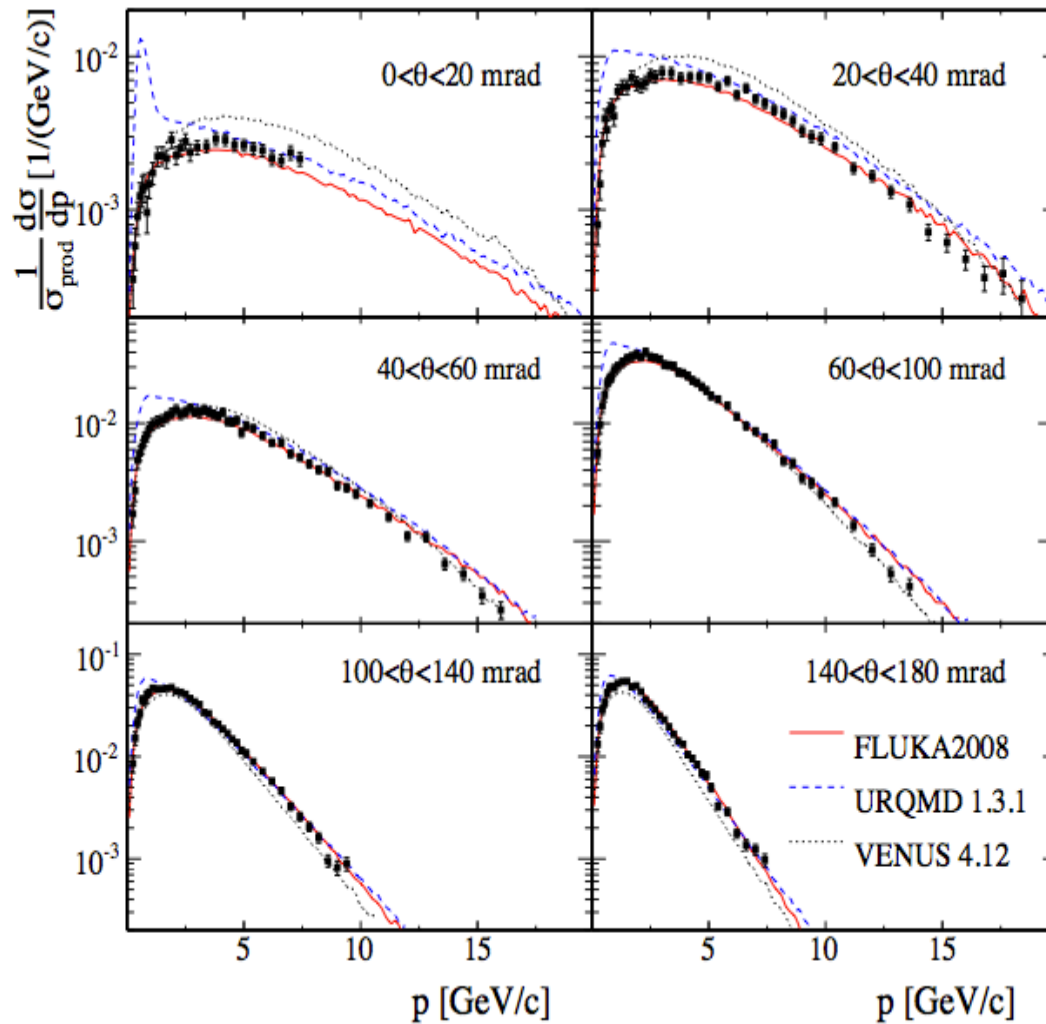
M.Posiała (UW) – dE/dx
(niskie pędy)



Wyniki – π^+

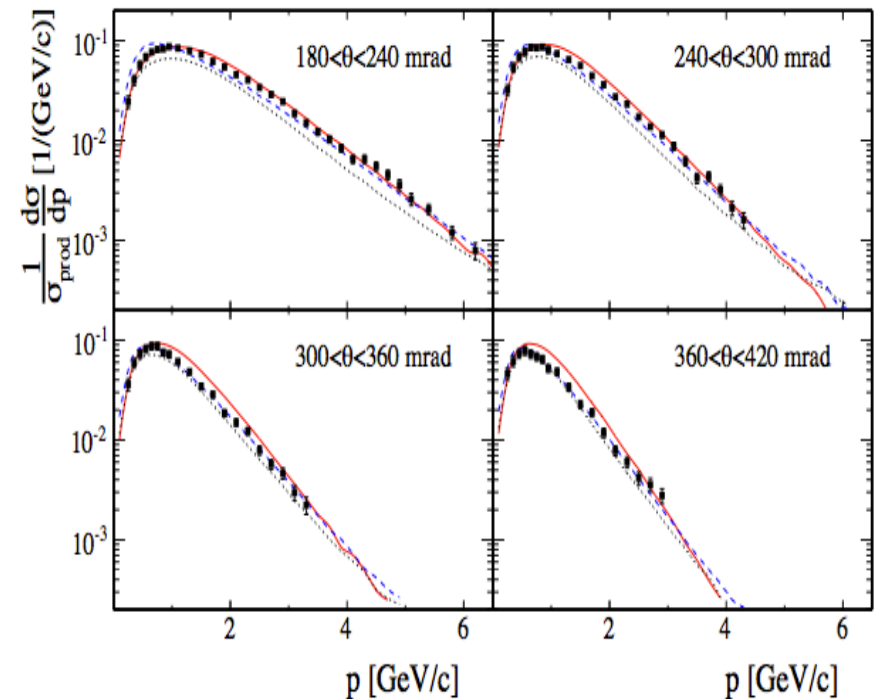
dn/dp versus p w przedziałach θ

Phys. Rev. C 84 (2011)
034604



S. Murphy – dE/dx +TOF

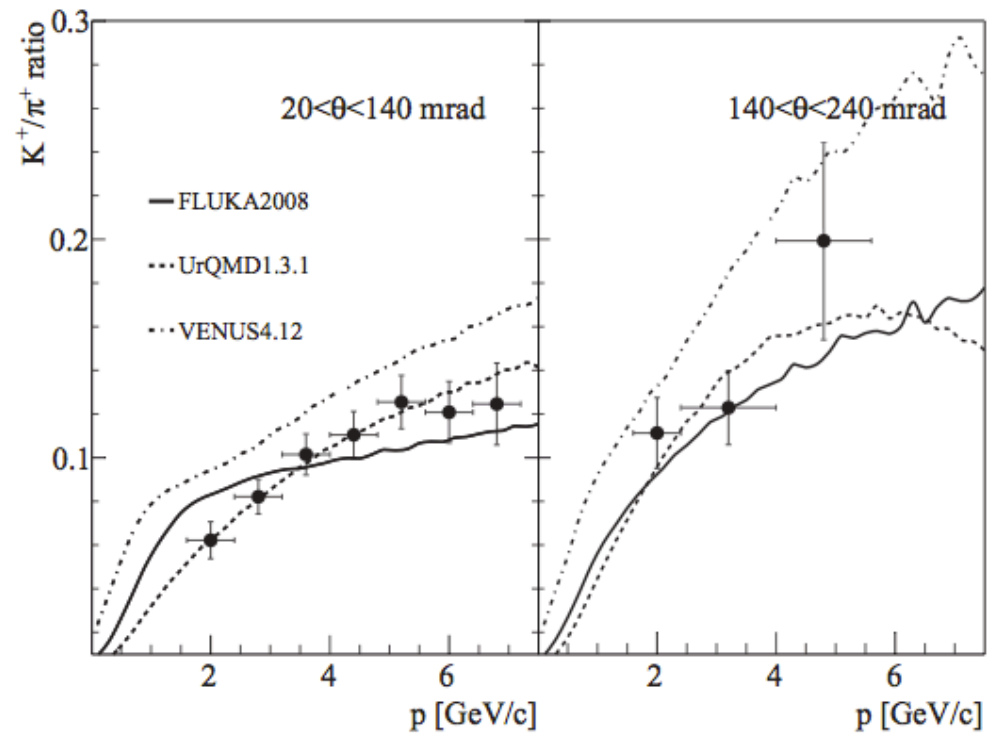
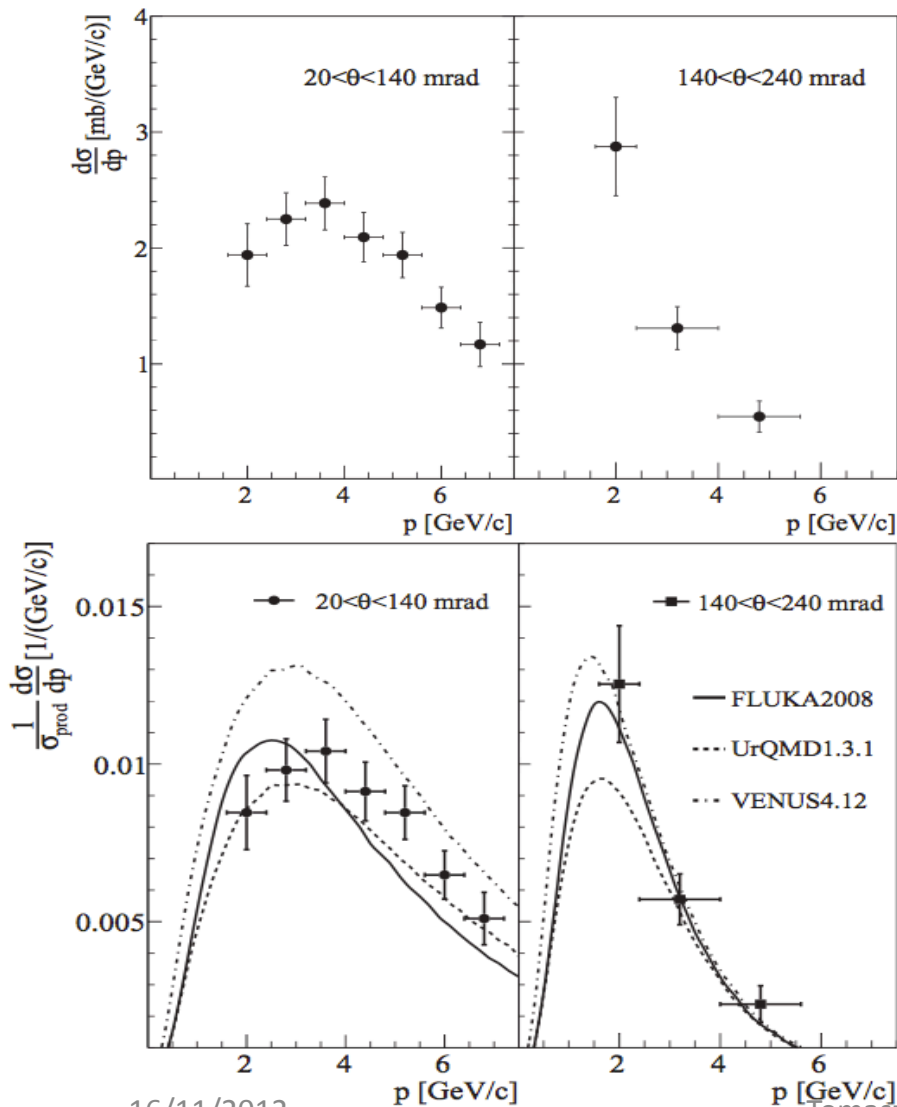
M. Posiadała (UW) – dE/dx
(niskie pędy)



Wyniki – K^+

Phys. Rev. C 85 (2012)
035210

S. Murphy - UniGen, S. Di Luise – ETH Zurich



pC (replika tarczy T2K) @ 31 GeV/c

PRL 107, 041801 (2011)

Selected for a *Viewpoint in Physics*
PHYSICAL REVIEW LETTERS

week ending
22 JULY 2011

Indication of Electron Neutrino Appearance from an Accelerator-Produced Off-Axis Muon Neutrino Beam

K. Abe,⁴⁹ N. Abgrall,¹⁶ Y. Ajima,^{18,†} H. Aihara,⁴⁸ J. B. Albert,¹³ C. Andreopoulos,⁴⁷ B. Andrieu,³⁷ S. Aoki,²⁷
O. Araya,^{18,†} J. Assiadaes,¹⁶ A. Ariga,³ T. Ariga,³ S. Asakura,¹¹ D. Autiero,³² A. Badarinarayan,¹⁵ M. Bani,⁴⁰

MEASUREMENT IN THE OFF-AXIS NEUTRINO BEAM DETECTOR.

We compute the neutrino beam fluxes (Fig. 1) starting from models and tuning them to experimental data. Pion production in (p, θ) bins is based on the NA61 measurements [21], typically with 5%–10% uncertainties. Pions produced outside the experimentally measured phase

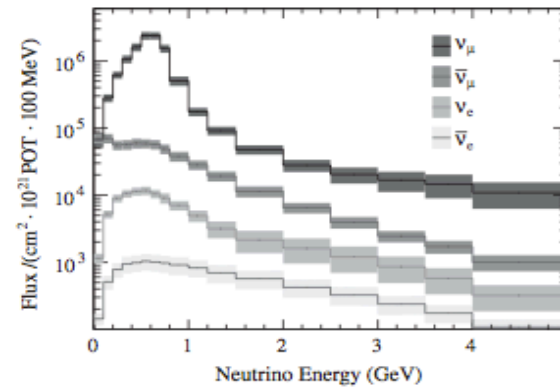


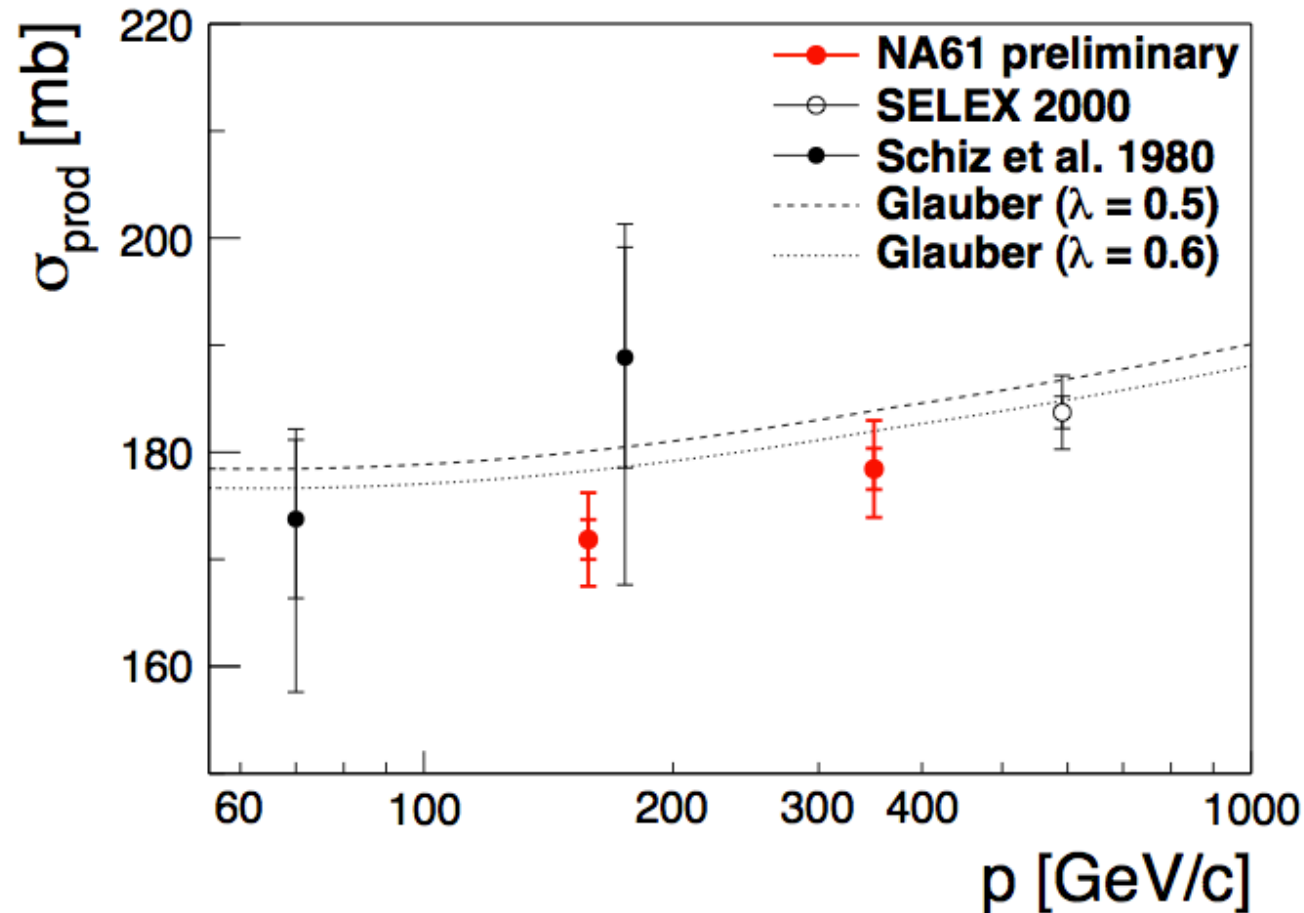
FIG. 1. Predicted neutrino fluxes at the far detector, in absence of oscillations. The shaded boxes indicate the total systematic uncertainties for each energy bin.

pC (replika tarczy T2K) @ 31 GeV/c 2009
Analizy w toku

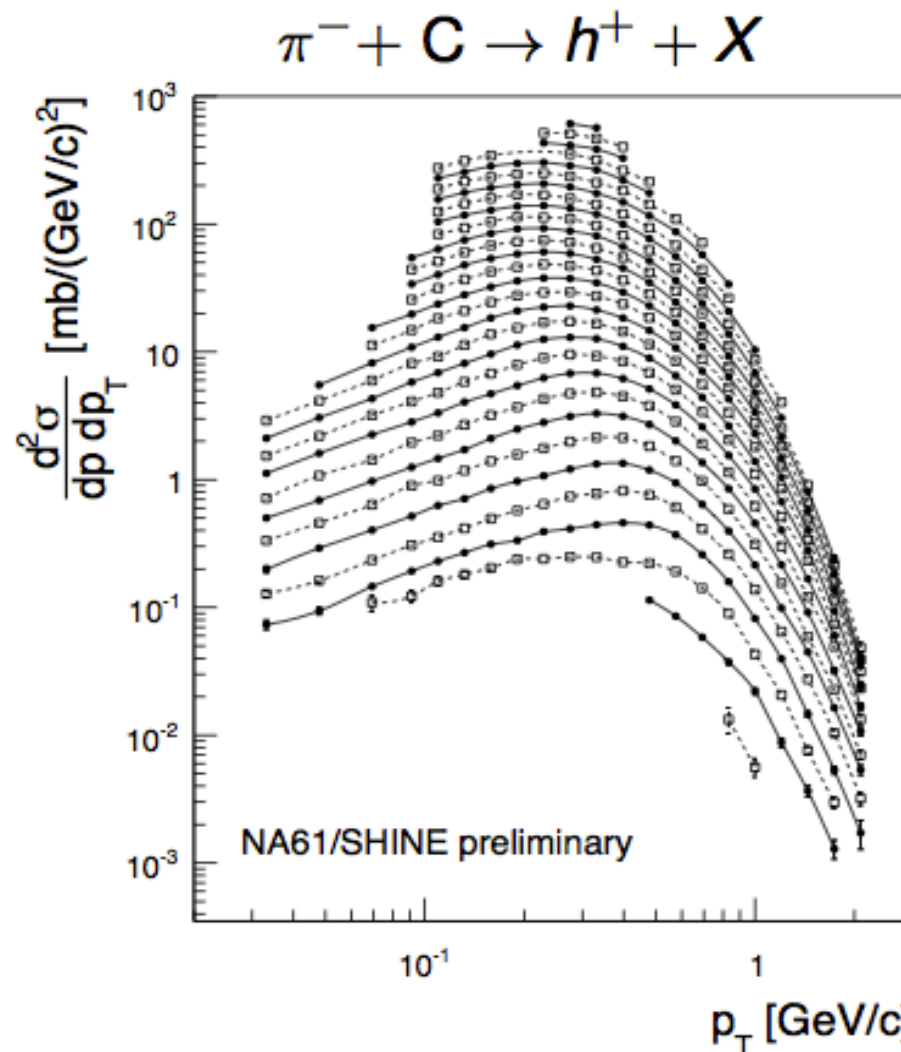
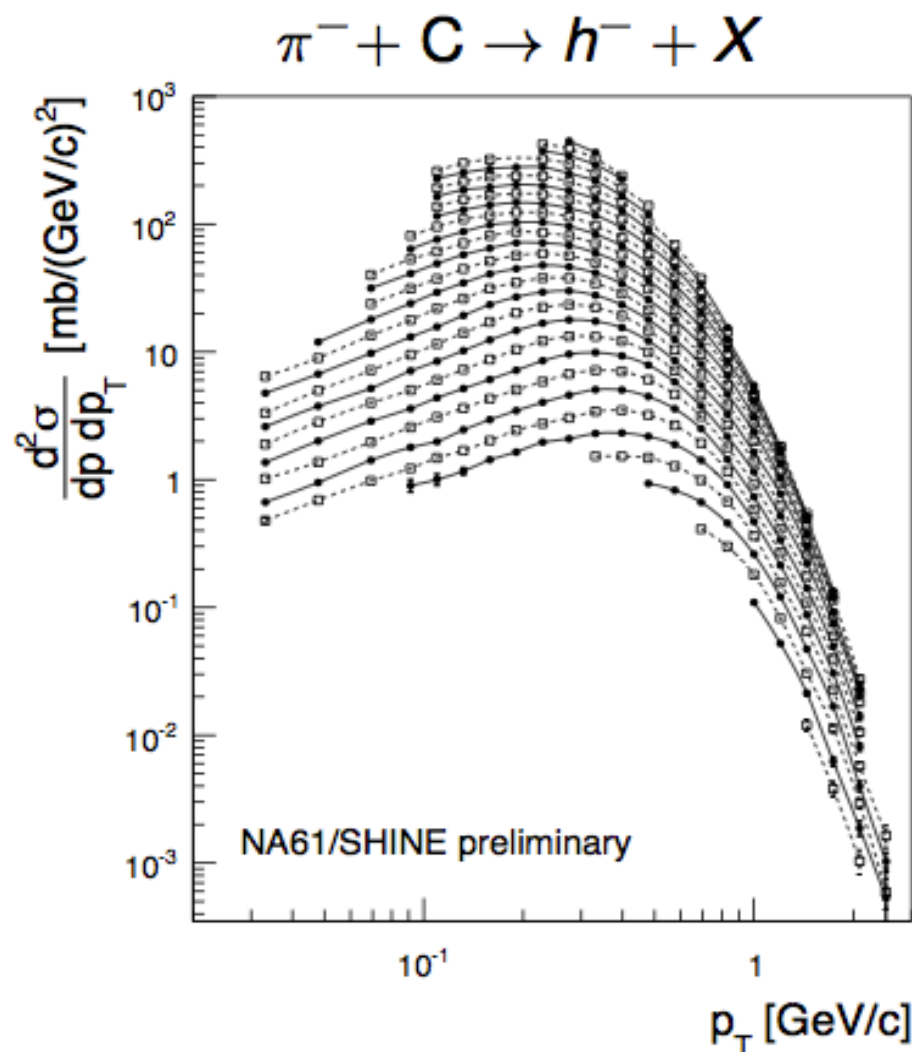
Wyniki dla danych zebranych w 2009 roku

$\pi^- + C @ 158, 350 \text{ GeV/c}$

- Przekrój czynny na produkcję



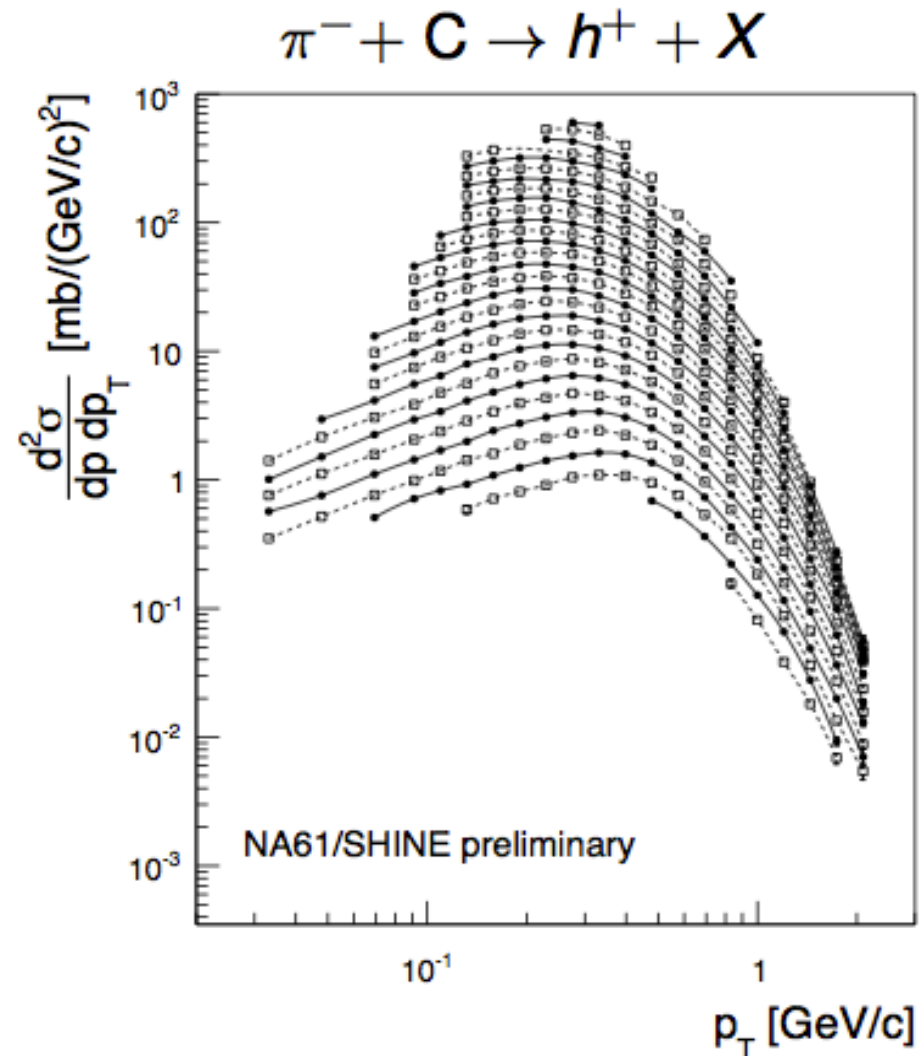
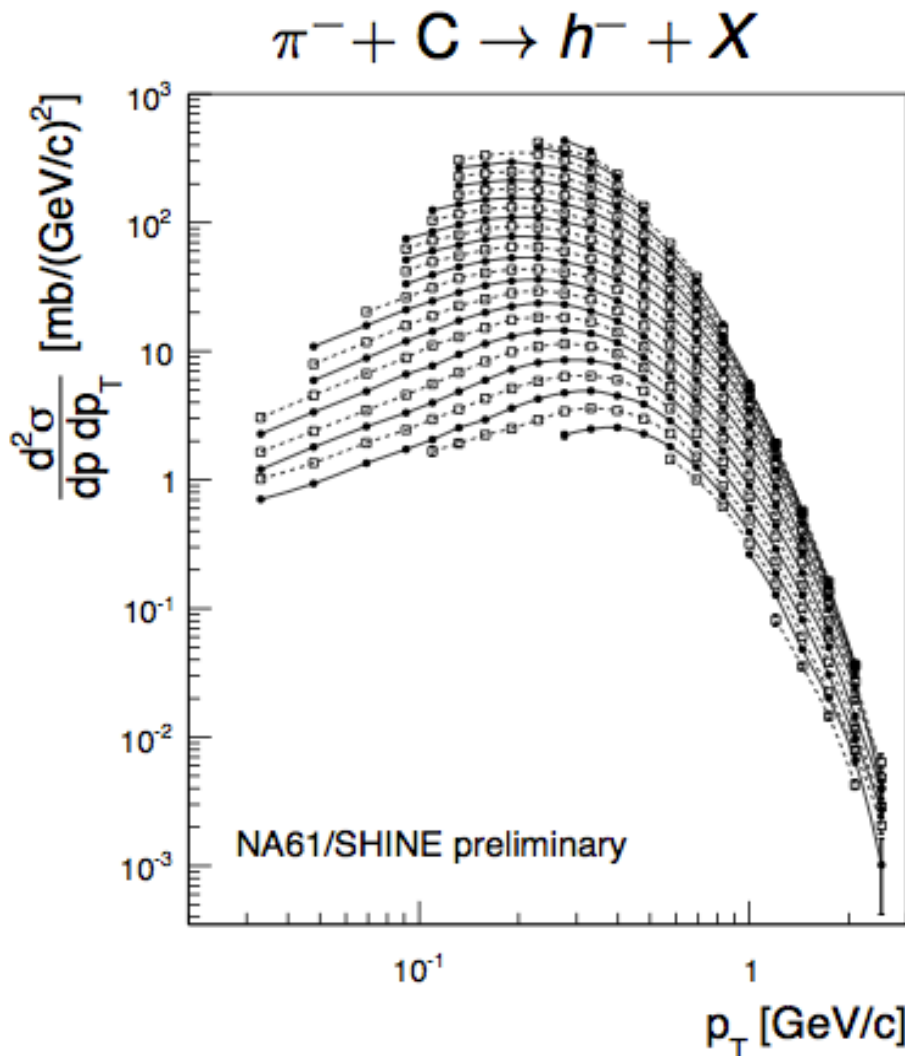
Charged Hadron Production in $\pi^- + C$ at 158 GeV/c



(H.P.Dembinski, M.Unger – KIT)

$p = 0.6 \dots 121$ GeV/c in steps of $\lg p / (\text{GeV}/c) = 0.08$

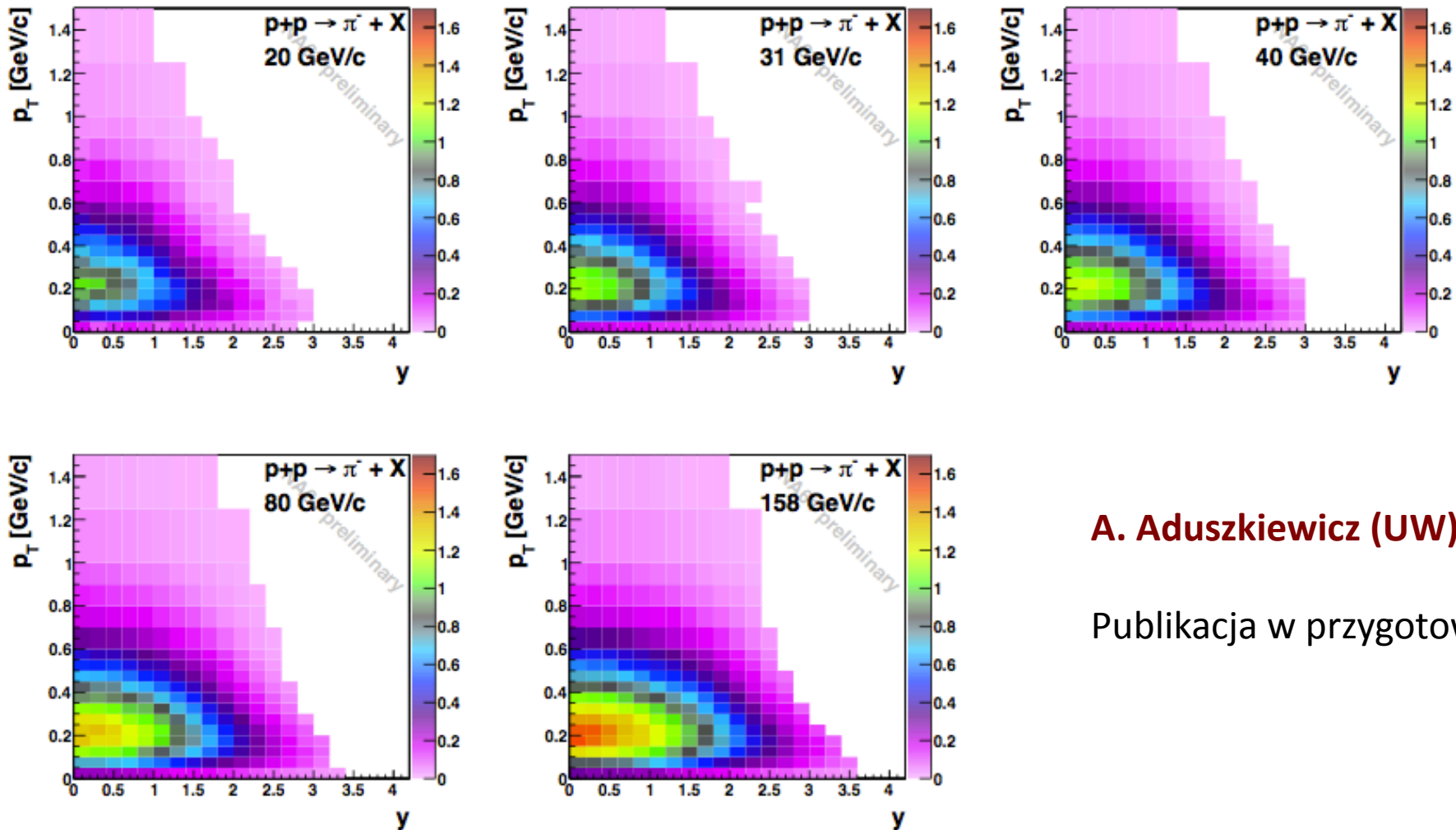
Charged Hadron Production in $\pi^- + C$ at 350 GeV/c



(H.P.Dembinski, M.Unger – KIT)

$p = 0.6 \dots 121 \text{ GeV}/c$ in steps of $\lg p/(\text{GeV}/c) = 0.08$

$p p @ 20, 31, 40, 80, 158 \text{ GeV}/c$ $\rightarrow \pi^-$ (metodą poprawek MC)



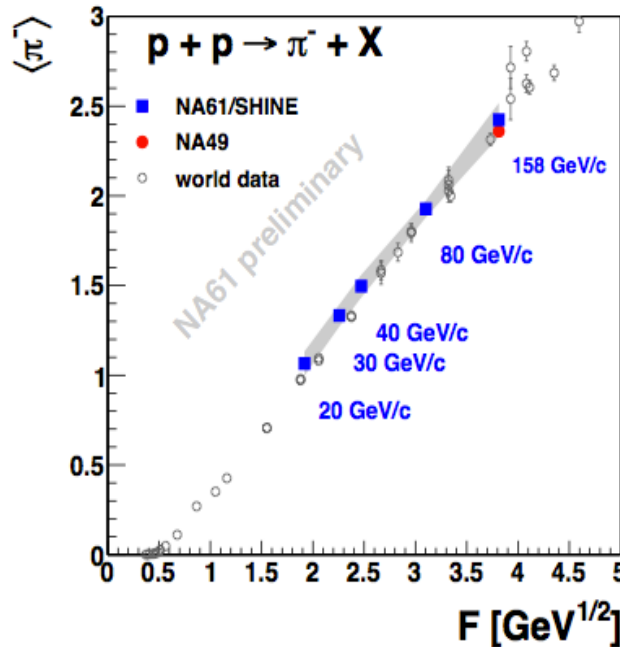
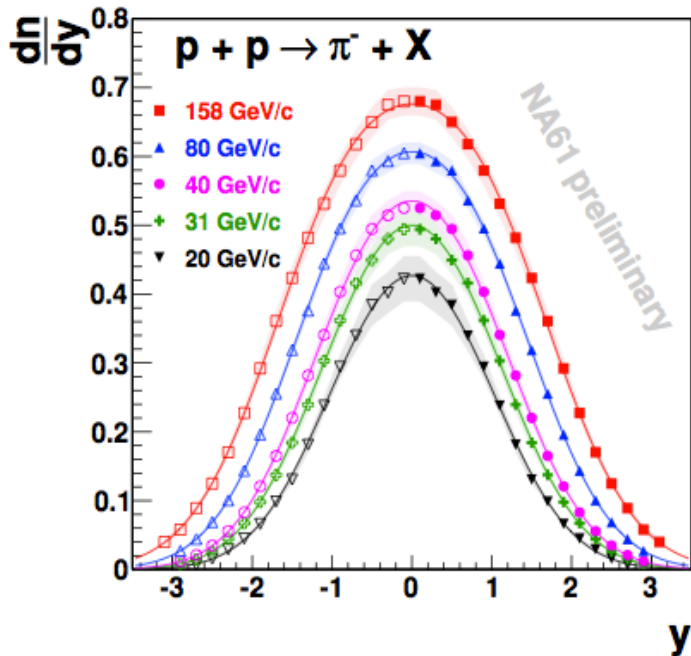
A. Aduszkiewicz (UW)

Publikacja w przygotowaniu

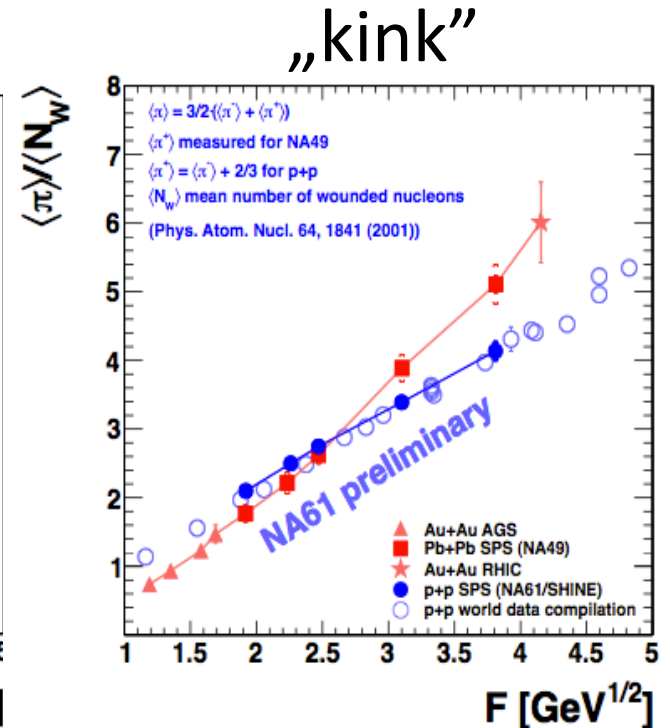
p p @ 20, 31, 40, 80, 158 GeV/c

→ π^- (metodą poprawek MC)

A. Aduszkiewicz



Średnia krotność π^-
zgadza się
z poprzednimi pomiarami



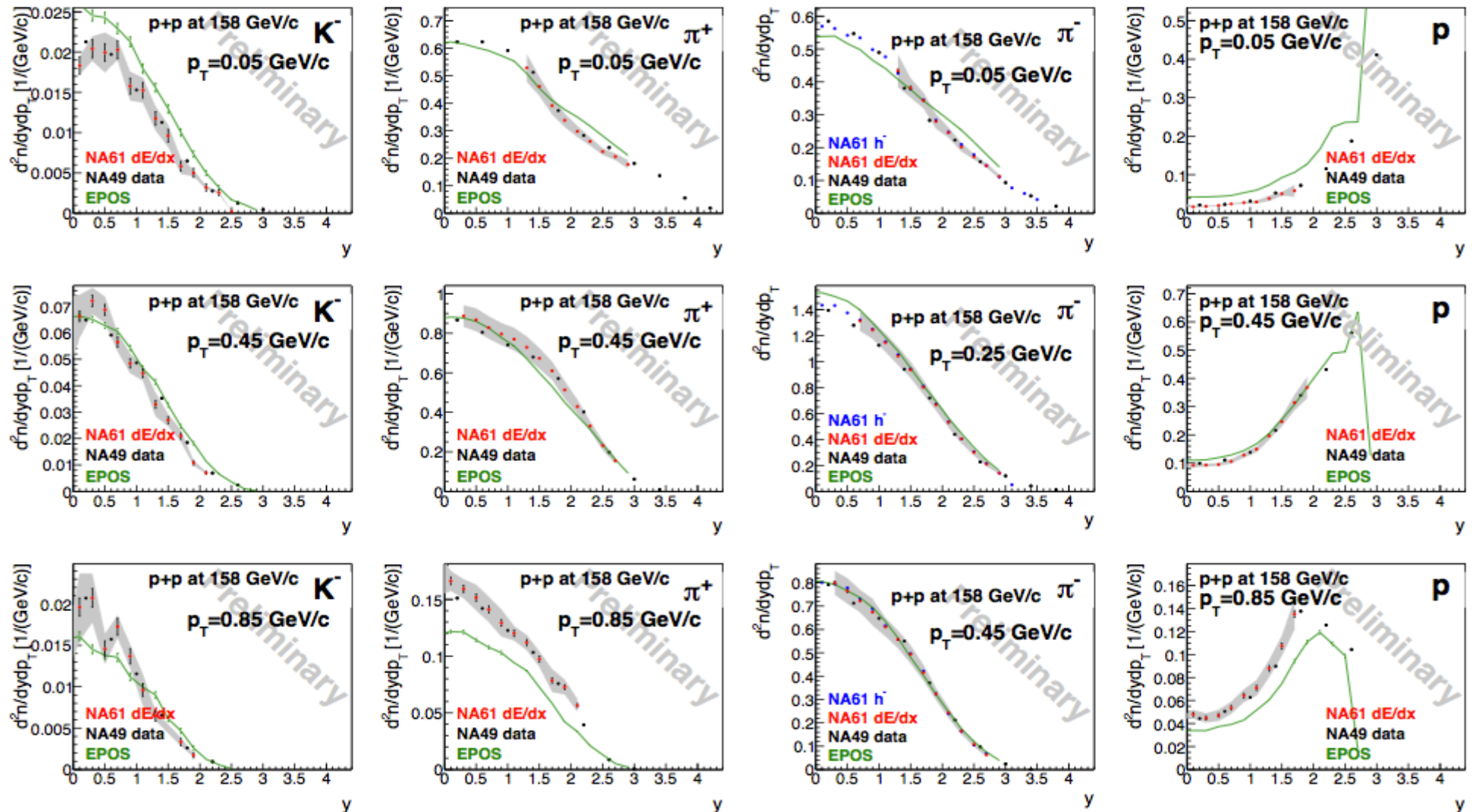
Krotność pionów wzrasta
szybciej dla centralnych
zderzeń Pb + Pb niż dla
p + p

p p @ 20, 31, 40, 80, 158 GeV/c

→ π^- , π^+ , K^+ , K^- , p (dE/dx)

S.Puławski

Przykład – p p @ 158 GeV/c - widma w pędzie poprzecznym i pośpieszności



Plany

1. Plan zbierania danych

2012 SPSC status report

Beam Primary	Beam Secondary	Target	Energy (A GeV)	Year	Days	Physics
Pb	^7Be	Be	13, 20, 30 13, 20, 30	2012/2013	14/28 days	CP, OD
Ar		Ca	13, 20, 30, 40, 80, 158	2014	6×8 days	CP, OD
p	p	Pb	400 13, 20, 30, 40, 80, 158	2014	6×7 days	CP, OD
p	p	Pb	400 158	2014?	30? days	High p_T
Xe		La	13, 20, 30, 40, 80, 158	2015	6×8 days	CP, OD

Table 1: The NA61/SHINE data taking plan revised due to the VTX-1 magnet failure in 2012. The remaining runs with secondary ^7Be beams are foreseen for 2012, whereas primary ion beams are planned to be used in 2014 and 2015. The high-statistics run for $p+\text{Pb}$ collisions at 158 GeV/c is optional, it depends on results obtained based on the data recorded in 2012. The following abbreviations are used for the physics goals of the data taking: CP – Critical Point, OD – Onset of Deconfinement.

2. Rozważany nowy detektor – detektor wierzchołka – do badań open charm

50M 160AGeV Pb+Pb(0-5)% → przewidywane 5M D^0

Preferowane badania w kanale rozpadu: $D^0 \rightarrow K^- + \pi^+$ (BR=3.87%)

Podsumowanie

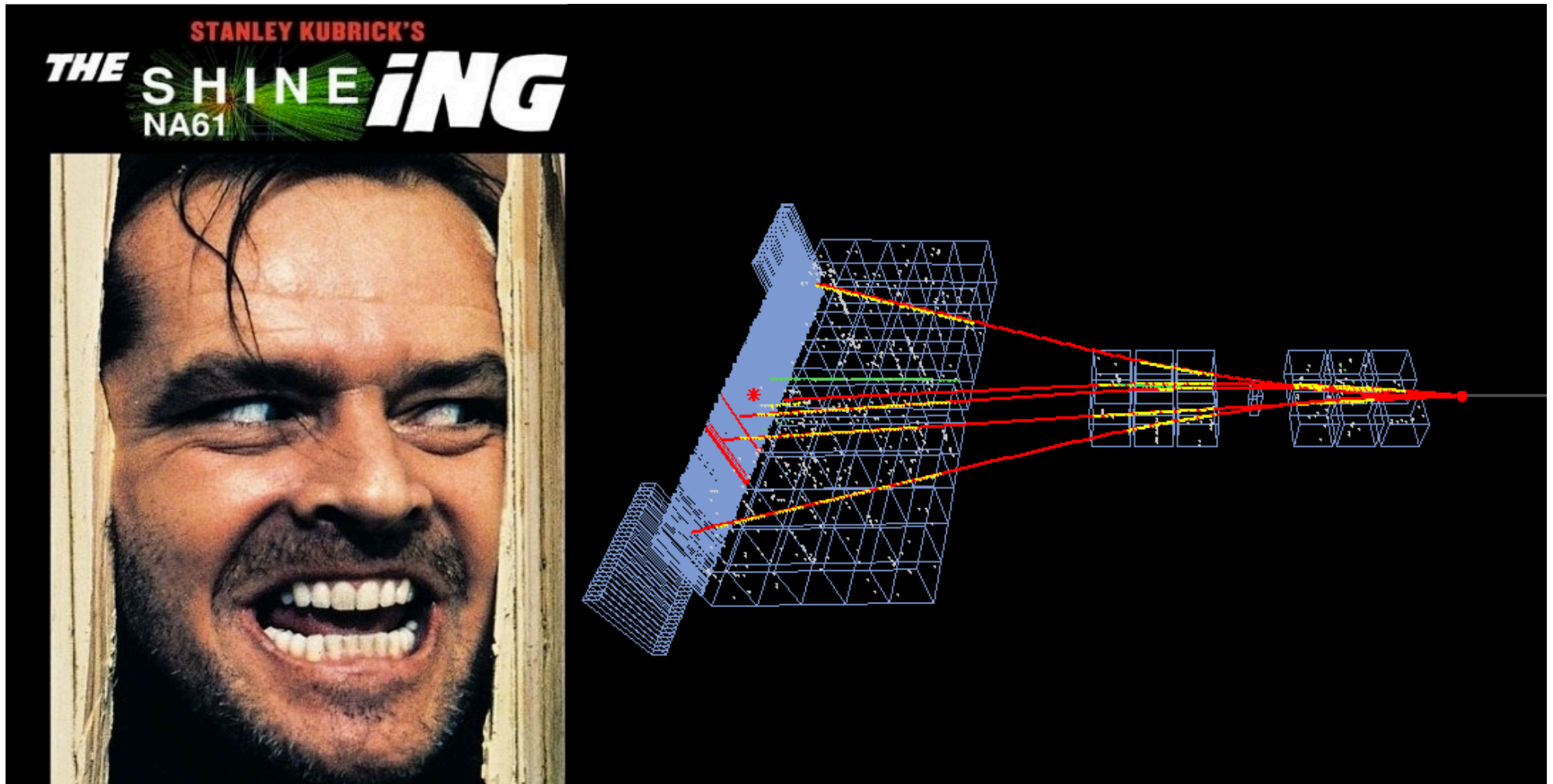
- Potencjał odkrywczy (punkt krytyczny)
- Precyzyjne pomiary
 - własności przejścia fazowego
 - pomiary R_{AA} dla dużych wartości p_T
 - wyniki dla przyszłych i istniejących eksperymentów neutronowych
 - wyniki istotne do poprawy symulacji pęków promieniowania kosmicznego

Podsumowanie

DANE 2007

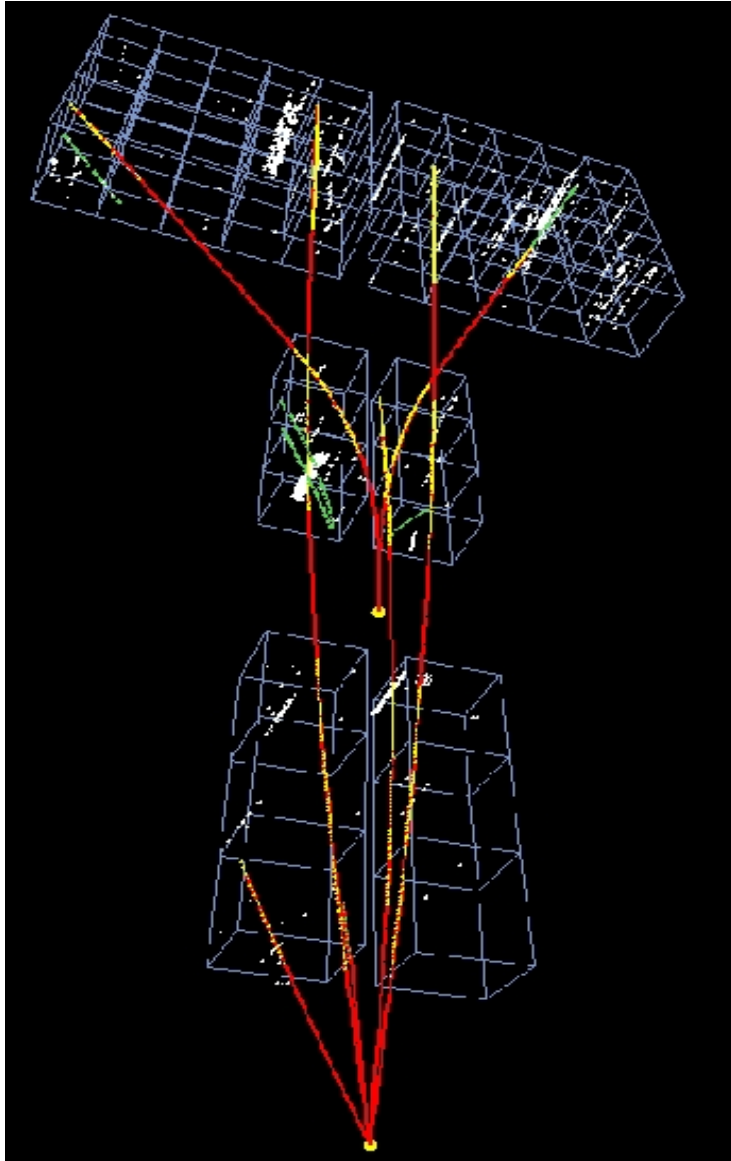
- **Wyniki zostały użyte do poprawy modeli MC** (UrQMD, Geant4, Fluka)
 - V. Uzhinsky, “How to Improve UrQMD Model to Describe NA61/SHINE Experimental Data”, arXiv: 1107.0374 [hep-ph]
 - V. Uzhinsky, “Tuning of the GEANT4 FRITIOF (FTF) Model Using NA61/SHINE Experimental Data”, arXiv:1109.6768 [hep-ph]
- **Wyniki zostały już użyte przez T2K do zmniejszenia błędu systematycznego związanego z produkcją wiązki neutrinowej**
 - K. Abe et al. [T2K Collaboration], “Indication of Electron Neutrino Appearance from an Accelerator-produced Off-axis Muon Neutrino Beam”, e-Print: arXiv:1106.2822v2 [hep-ex]. Published in **Phys.Rev.Lett.107:041801,2011**
- **Wyniki π^- zostały opublikowane**
 - N. Abgrall et al. [NA61/SHINE Collaboration], “Measurements of Cross Sections and Charged Pion Spectra in Proton Carbon Interactions at 31 GeV/c”. CERN-PH-EP-2011-005. e-Print: arXiv:1102.0983 [hep-ex] Published in **Phys. Rev. C 84:034604, 2011.**
- **Wyniki K^+ zostały opublikowane**
 - N. Abgrall et al. [NA61/SHINE Collaboration], “Measurement of Production Properties of Positively Charged Kaons in Proton-Carbon Interactions at 31 GeV/c”. CERN-PH-EP-2011-199. e-Print: arXiv: 1112.0150 [hep-ex]. Published in **Phys. Rev. C 85:035210, 2012.**
- **Przygotowywana jest publikacja K^0_s i Λ**

Dziękuję za uwagę



Slajdy dodatkowe

Performance of the NA61 detector:



Results of the 2007 run:

Large acceptance: $\approx 50\%$

High momentum resolution:

$$\sigma(\mathbf{p})/p^2 \approx 10^{-4} \quad ((\mathbf{GeV}/c)^{-1})$$

at full magnetic field

Good particle identification:

$$\sigma(TOF) \approx 100 \text{ ps},$$

$$\sigma(dE/dx)/\langle dE/dx \rangle \approx 0.04,$$

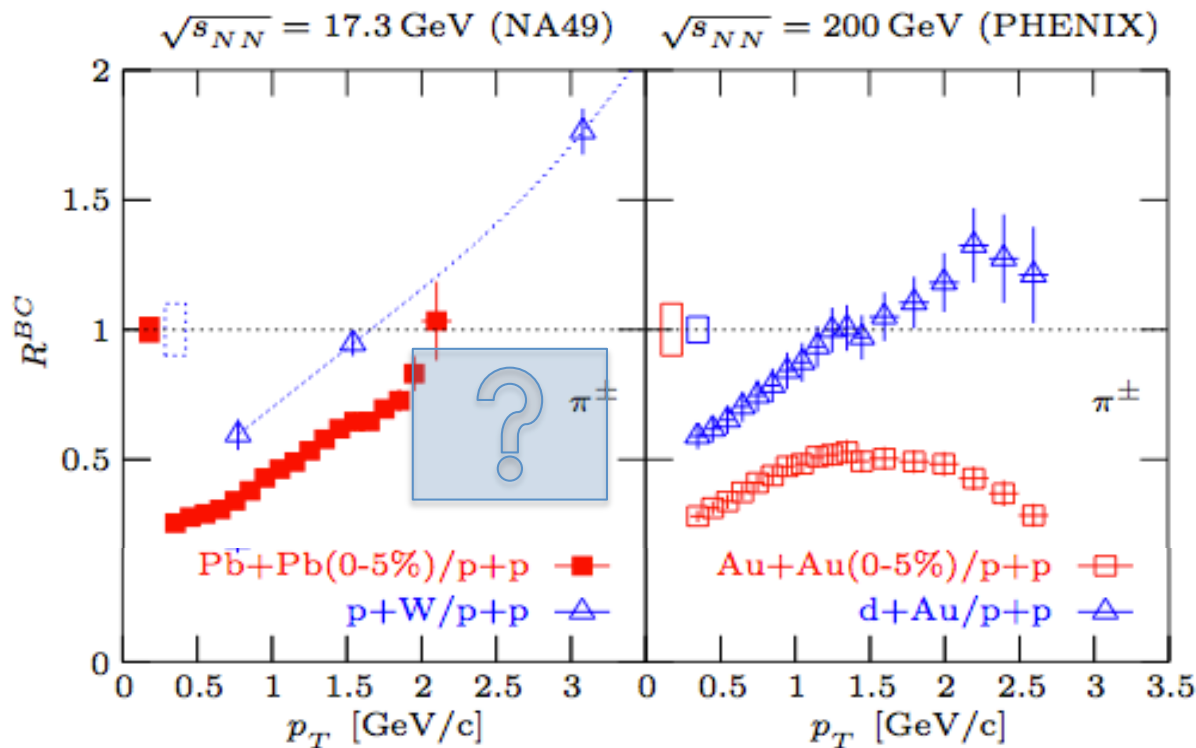
$$\sigma(m_{inv}) \approx 5 \text{ MeV}$$

High detector efficiency:

$> 95\%$

Cele (1)

- Pomiary własności hadronów produkowanych z dużym pędem poprzecznym w zderzeniach p p, p A oraz A A → **Zależność współczynnika modyfikacji jądrowej od energii**



RHIC oraz LHC → Silne tłumienie
 $R_{A+A/p+p}$ (R_{AA}) dla dużych p_T
 Phys.Rev. C69 034910, C74 024904

Wyniki NA49 Phys.Rev. C77 034906

NA61/SHINE dopełnienie
Pomiarów NA49
→ 50M zderzeń
p + p i p + Pb @ 158 GeV

$$R_{A_1+A_2/A_3+A_4}^{BC} = \frac{\langle N_{BC}(A_3 + A_4) \rangle}{\langle N_{BC}(A_1 + A_2) \rangle} \cdot \frac{\text{yield}(A_1 + A_2)}{\text{yield}(A_3 + A_4)}$$

$$R_{AA}(p_T) = \frac{1}{N_{coll}^{AA}} \frac{d^2 N^{AA} / dy dp_T}{d^2 N^{pp} / dy dp_T}$$

Błąd systematyczny T2K

Znajomość strumienia neutrin

- Znajomość produkcji π^+ \rightarrow 7.5 % (Modele) \rightarrow 2.5% (używając wyników NA61/SHINE)
- Znajomość produkcji K^+ \rightarrow 7.6 % (Modele) \rightarrow wyniki NA61/SHINE dostarczone T2K, jeszcze nie użyte
- Znajomość wiązki protonów (pozycja/profil), pomiar kierunku wiązki, ustawienie tarczy, ustawienie systemu rożków magnetycznych i ich stabilność, znajomość przekroju czynnego na produkcję, ...

BEZ NA61/SHINE

Z NA61/SHINE

Zakładając

$K^+ \rightarrow$ 2.5%

(używając

NA61/SHINE)

4.5%

Znajomość strumienia neutrin

11%

8.5%

(Błąd sys stosunku strumienia neutrin w bliskim i dalekim det.)

Całkowita względna

niepewność systematyczna

19%

17.5%

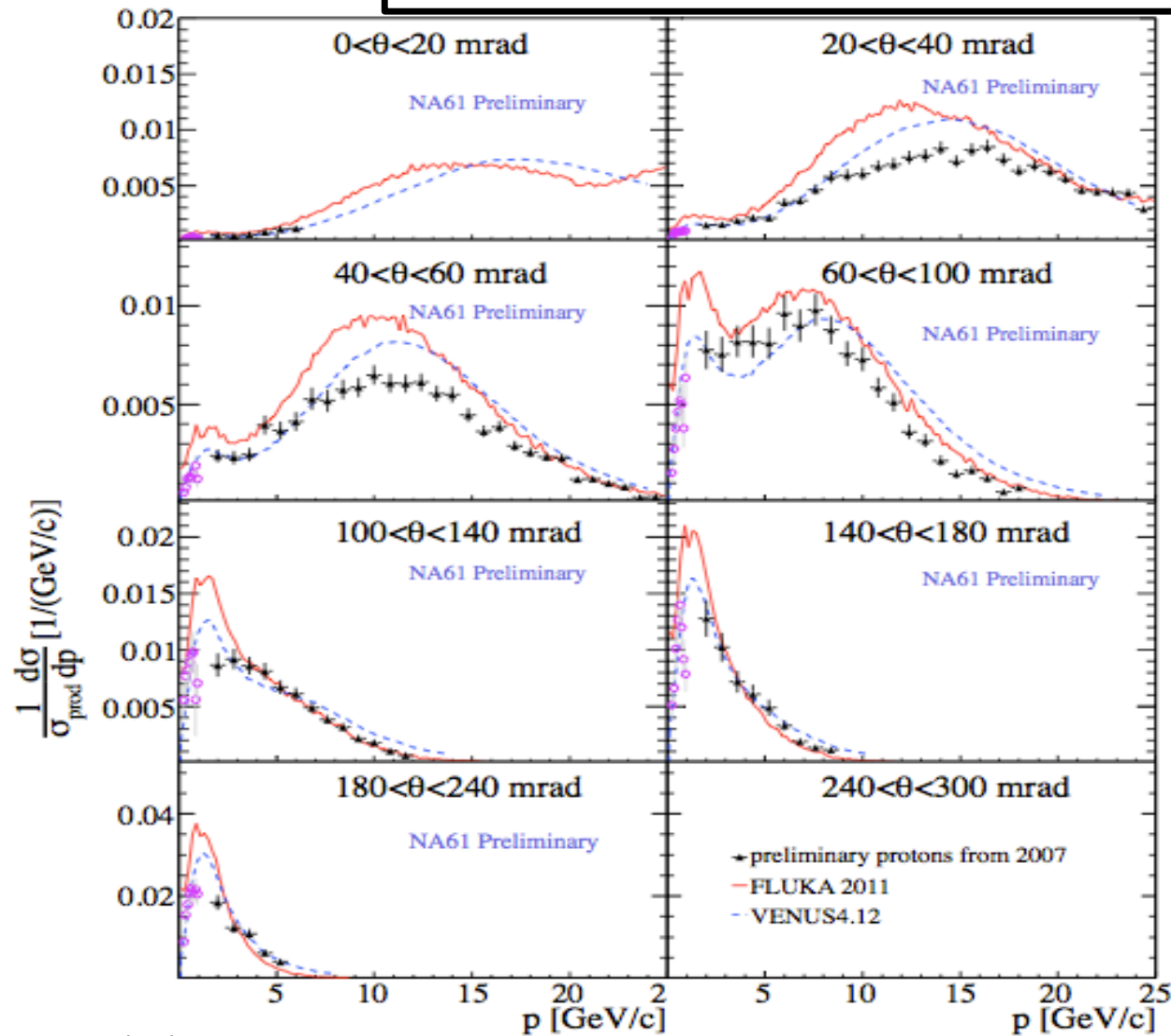
16%

Model SMES

- **Podstawowe założenia modelu statystycznego wczesnej fazy**
 - Przejście do plazmy kwarkowo-gluonowej następuje pomiędzy energiami AGS a najwyższymi energiami SPS czyli $\sqrt{s_{NN}} \approx 7\text{GeV}$
 - Przejście fazowe pierwszego rodzaju w całym obszarze μB
 - Istnienie fazy mieszanej pomiędzy plazmą kwarkowo-gluonową, a gazem hadronowym charakterystyczne dla przejścia fazowego pierwszego rodzaju
 - Istnienie równowagi termodynamicznej w początkowej fazie zderzenia
 - Liczba wewnętrznych stopni swobody wzrasta dla QGP z powodu dodatkowych partonowych stopni swobody
 - Entropia w stanie końcowym jest proporcjonalna do całkowitej liczby pionów
 - Stała liczba kwarków dziwnych i entropii przed i po hadronizacji

Wyniki wstępne – p

dn/dp versus p w przedziałach θ



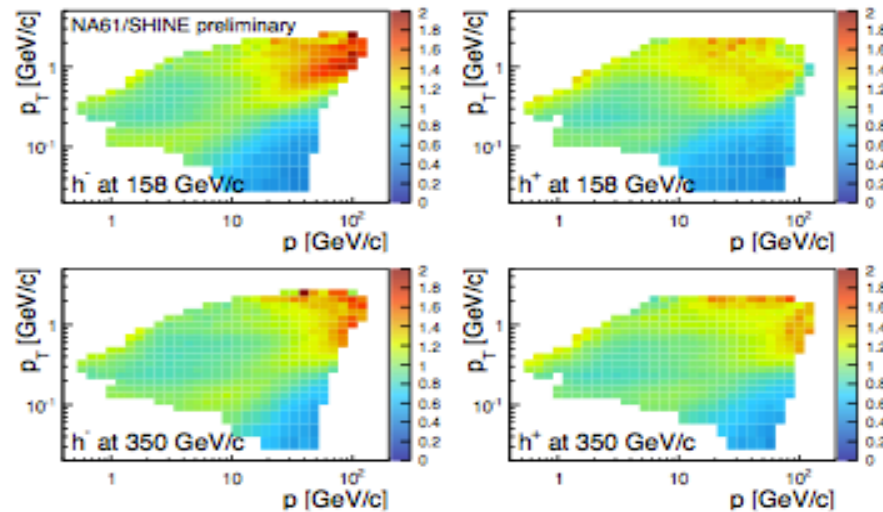
S.Murphy – dE/dx+TOF

M.Posidatała – dE/dx
(niskie pędy)

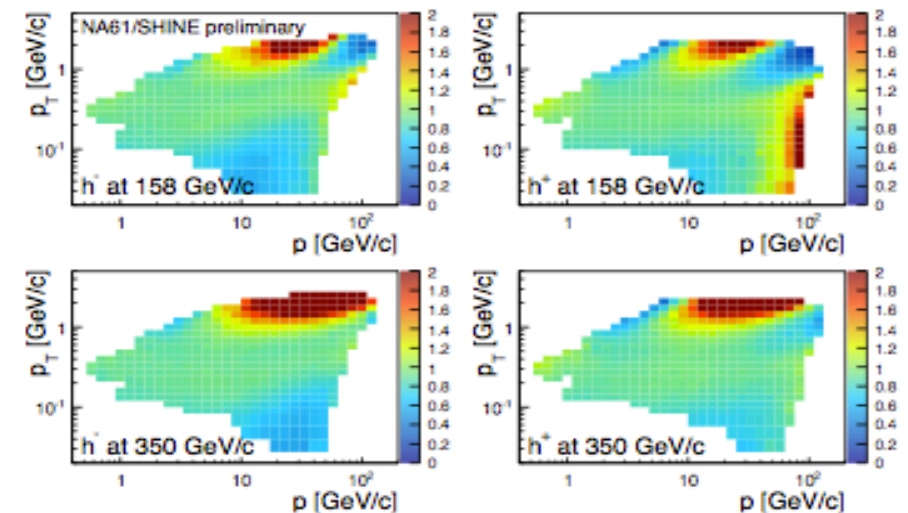
Comparison to Hadronic Interaction Models

$\pi^- + C$

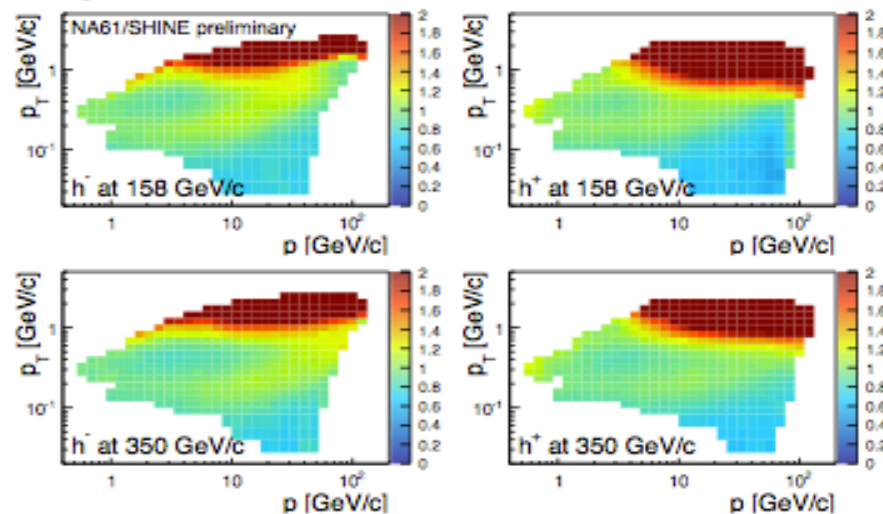
QGSJetII-03



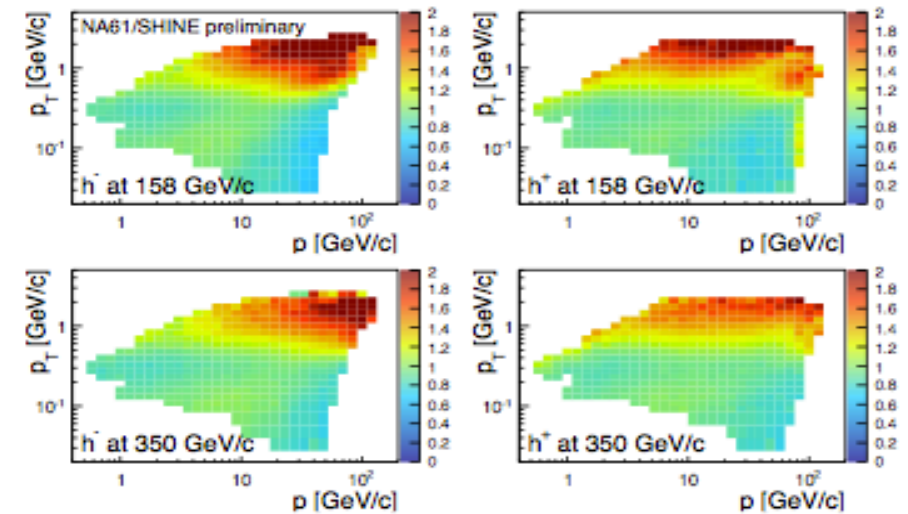
UrQMD1.3.1_patched



Sibyll2.1



EPOS1.99



colors: data/MC, dark red: ≥ 2 , dark blue: ≤ 0.3

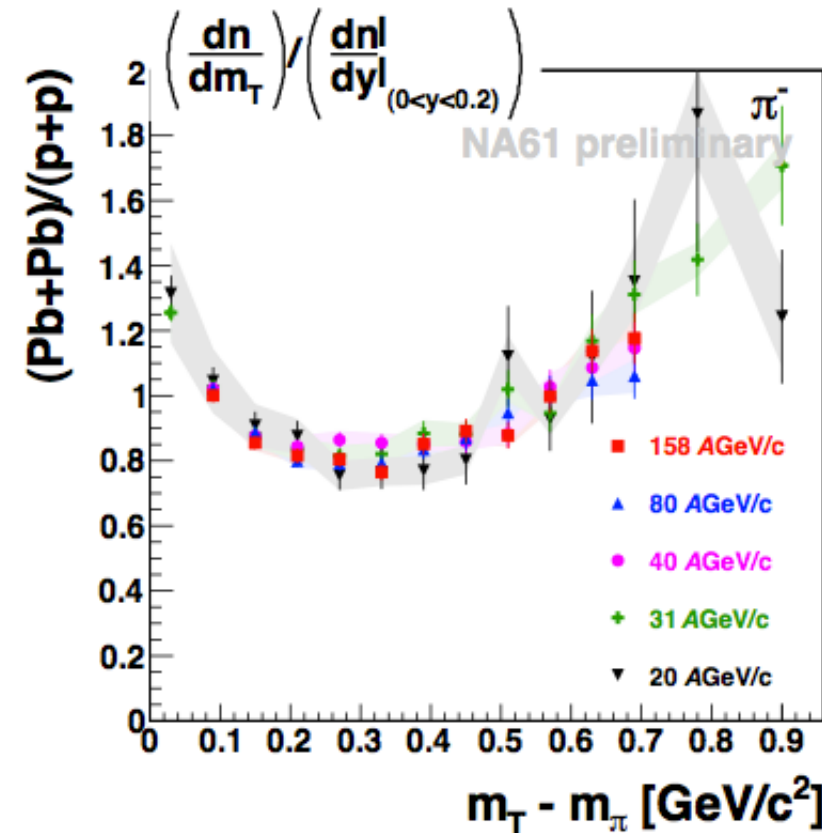
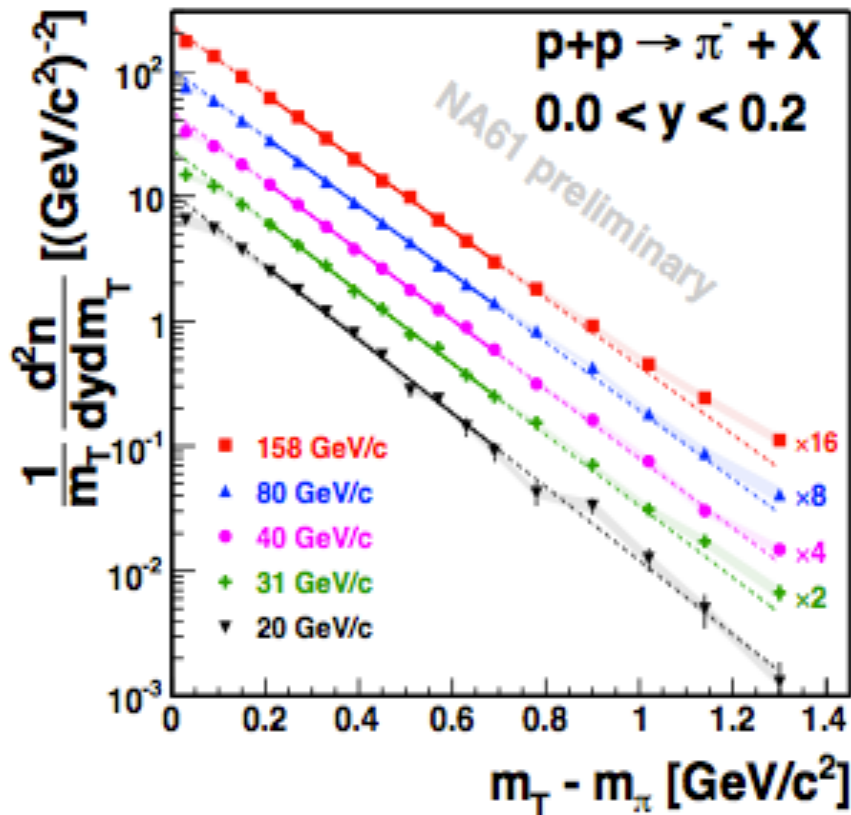
(H.P.Dembinski, M.Unger – KIT)

p p @ 20, 31, 40, 80, 158 GeV/c

→ π^- (metodą poprawek MC)

A. Aduszkiewicz

(NA49 Pb+Pb)/(NA61 p+p)



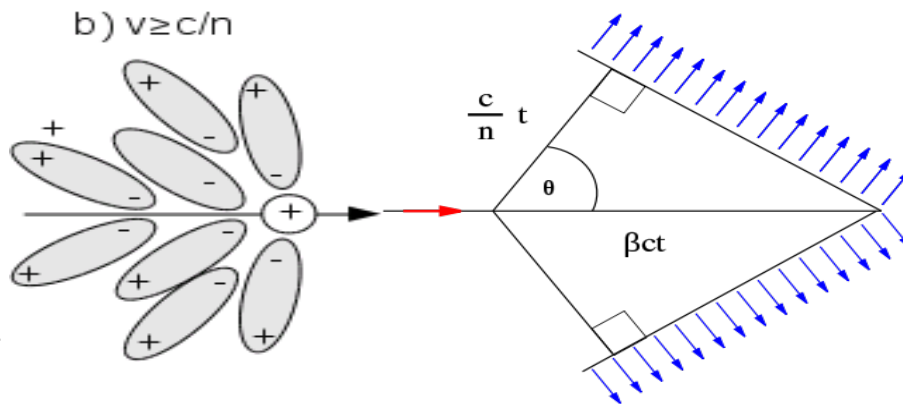
Znacząca różnica w kształcie niezależnie od energii

C1(CEDAR) i C2(detektor progowy)

- **Promieniowanie Cherenkova jest emitowane gdy cząstka naładowana porusza się z prędkością większą od prędkości fazowej światła w tym ośrodku**

$$V > V_f = c/n$$

- c – prędkość światła w próżni
- n – współczynnik załamania światła substancji
- Promieniowanie Cherenkova = polaryzacja ośrodka wzdłuż toru a następnie powrót ośrodka do stanu równowagi przez promieniowanie koherentne



$$\cos \theta = \frac{c/nt}{\beta ct} = \frac{c/n}{\beta c} = \frac{1}{n\beta}$$

C1(CEDAR) i C2(detektor progowy)

- $n > 1/\beta$ ($v > c/n$) aby było promieniowanie Cherenkova
- **C1 (CEDAR)**
 - detektor typu obrazującego (RICH)
 - mierzymy kąt cherenkova ($\cos\theta = 1/n\beta$)
 - znając współczynnik załamania n oraz pęd cząstki $p = m\beta\gamma$ (z innego pomiaru) można określić rodzaj cząstki $\rightarrow m$

C1(CEDAR) i C2(detektor progowy)

- **C2 (detektor progowy)**

- **detektor typu „świeci albo nie świeci”**

- znając pęd cząstek możemy policzyć β dla poszczególnych cząstek (p , K , π , ...)

$$\beta = 1/\sqrt{1+(m/p)^2}$$

- następnie można wyznaczyć wartość krytyczną współczynnika załamania dla poszczególnych cząstek ($n=1/\beta$)

- współczynnik załamania w ośrodku gazowym zależy od temperatury i ciśnienia

$$n - 1 = (n_0 - 1) \left(\frac{T_0}{P_0} \right) \frac{P}{T}$$

- n_0 to współczynnik załamania przy $P_0=1$ bar i $T_0=293$ K.

- **dobór odpowiedniego ciśnienia przy ustalonej temperaturze pozwala na ustalanie które cząstki są powyżej progu detekcji**

- **Czym cięższa cząstka to wartość krytyczna współczynnika załamania jest większa**

C1(CEDAR) i C2(detektor progowy)

- Przykład
 - pęd 1 GeV/c
 - β dla p , K , π jest równa odpowiednio **0.73, 0.89, 0.99**
 - Wartość krytyczna współczynnika załamania ($n=1/\beta$) jest równa dla p , K , π odpowiednio **1.37, 1.12, 1.01**
 - Jeżeli dobierzemy ciśnienie gazu przy stałej temperaturze tak aby **$n < 1.37$ jedynie K i π będą dawały sygnał**
- C2 brak sygnału od protonów.
 - C2 w antykoincydencji w systemie wyzwalania.

C1(CEDAR) i C2(detektor progowy)

Wszystkie cząstki

Wyselekcjonowane protony

