

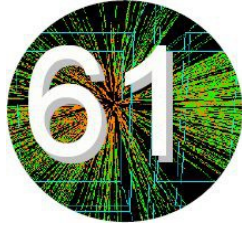
Badanie plazmy kwarkowo- gluonowej w eksperymencie NA61/SHINE

Antoni Aduszkiewicz

**Uniwersytet Warszawski
Wydział Fizyki**

**Seminarium Fizyki Jądra Atomowego
*25 listopada 2010***

Plan seminarium

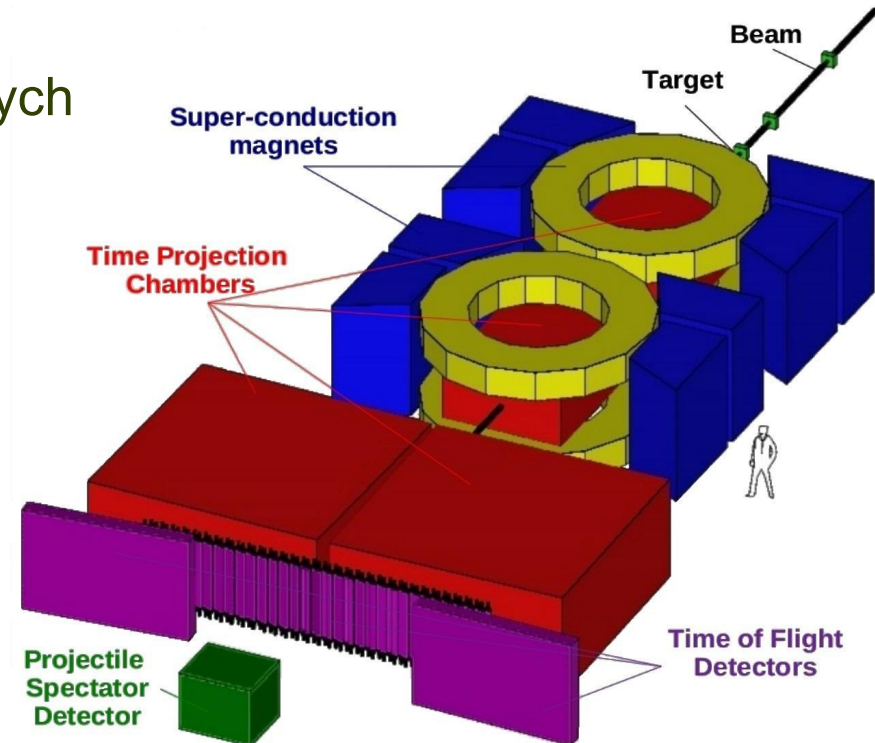


- Krótkie przedstawienie eksperymentu
- Fizyka w NA61/SHINE
 - Motywacja: wyniki eksperymentu NA49
 - Program fizyczny NA61/SHINE
- Budowa detektora
 - Detektor NA49
 - Modernizacje i ich przyczyny
- Obecny status, pierwsze wyniki i plany

Eksperyment NA61/SHINE



- Następca eksperymentu NA49 w laboratorium CERN
- Wiązka p , (A) lub π o energii 13-158 (350) (A)GeV na stacjonarnej tarczy
- W zderzeniach produkuje się od kilku do kilku tysięcy cząstek, głównie π
- Dla cząstek naładowanych mierzymy:
 - ładunek i pęd w detektorach śladowych umieszczonych w magnesie
 - masę, poprzez stratę energii w gazie (dE/dx)
 - masę, poprzez pomiar czasu przelotu
- Kalorymetr za tarczą liczy nukleony nieuczestniczących w oddziaływaniu



Uczestnicy eksperymentu



The Universidad Tecnica Federico Santa Maria, Valparaiso, Chile

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

KFKI Research Institute for Particle and Nuclear Physics, Budapest, Hungary

LPNHE, University of Paris VI and VII, Paris, France

University of Silesia, Katowice, Poland

Rudjer Boskovic Institute, Zagreb, Croatia

Soltan Institute for Nuclear Studies, 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

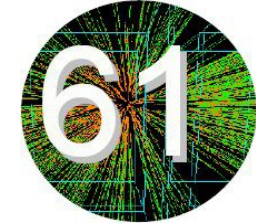
Warsaw University of Technology, Warsaw, Poland

129 fizyków z 13 krajów

spokesperson:

Marek Gaździcki

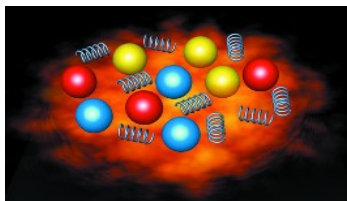
(Uniwersytet w Kielcach,
Uniwersytet we Frankfurcie)



SHINE = SPS Heavy Ion and Neutrino Experiment

Fizyka materii oddziałującej silnie

- Poszukiwanie punktu krytycznego QGP
- Badanie własności przejścia fazowego QGP
- Pomiar własności hadronów produkowanych z dużym pędem poprzecznym w zderzeniach p+p i p+Pb



Dane dla eksperymentów neutrinowych i promieni kosmicznych

- Badanie produkcji hadronów w zderzeniach p+C i π +C dla eksperymentów T2K, Pierre Auger
- Badanie produkcji hadronów na replice tarczy T2K

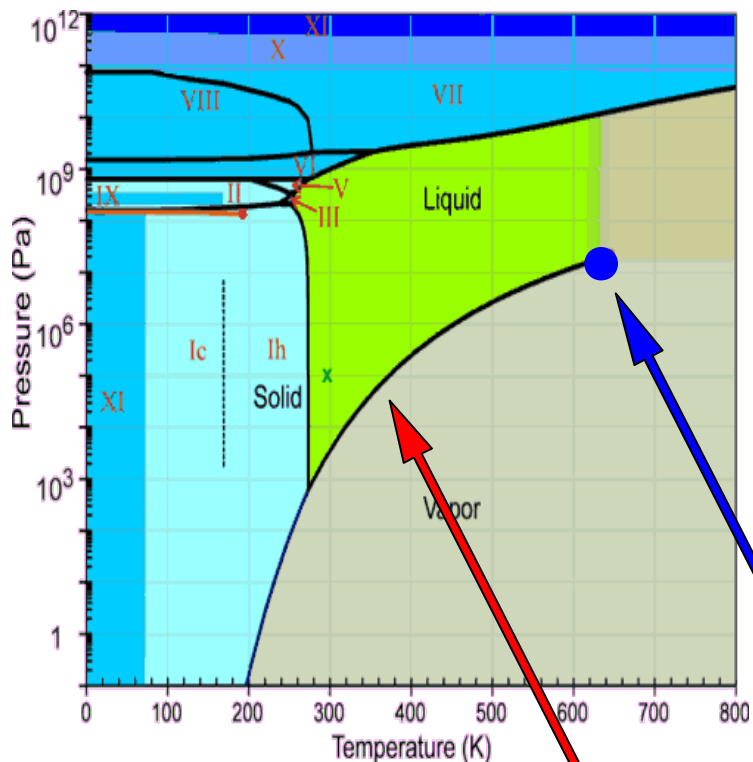


Diagram fazowy

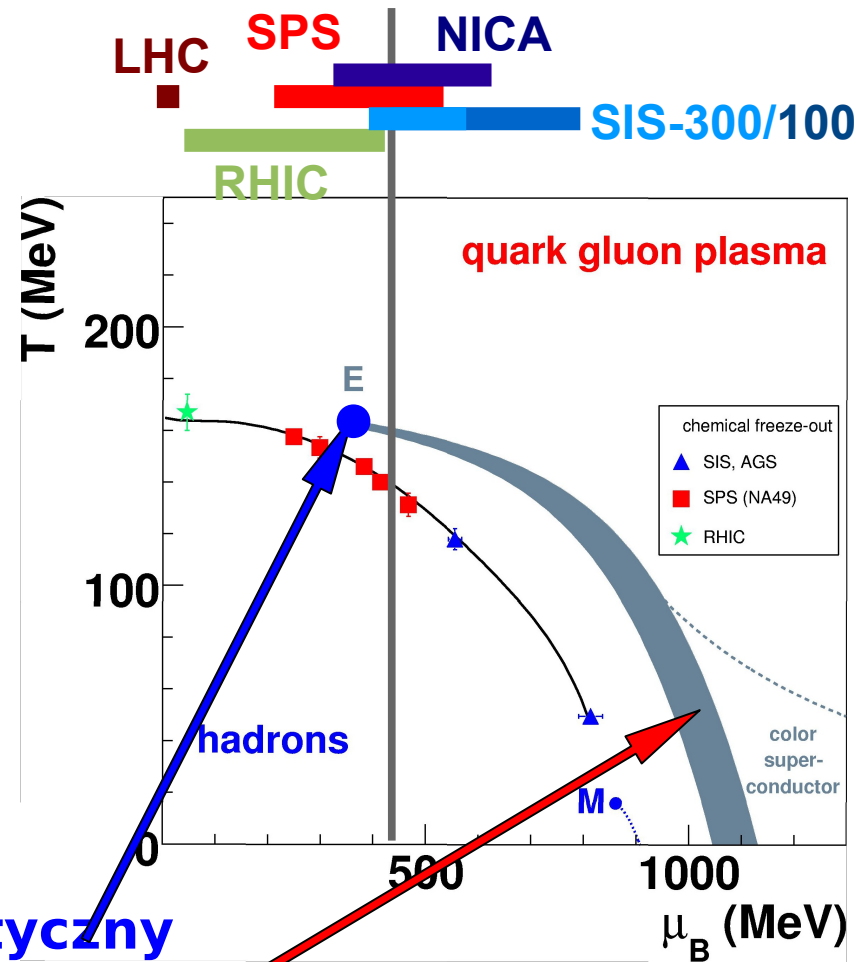


oddziaływania silne

woda – oddziaływania elektromagnetyczne



punkt krytyczny
przejście fazowe



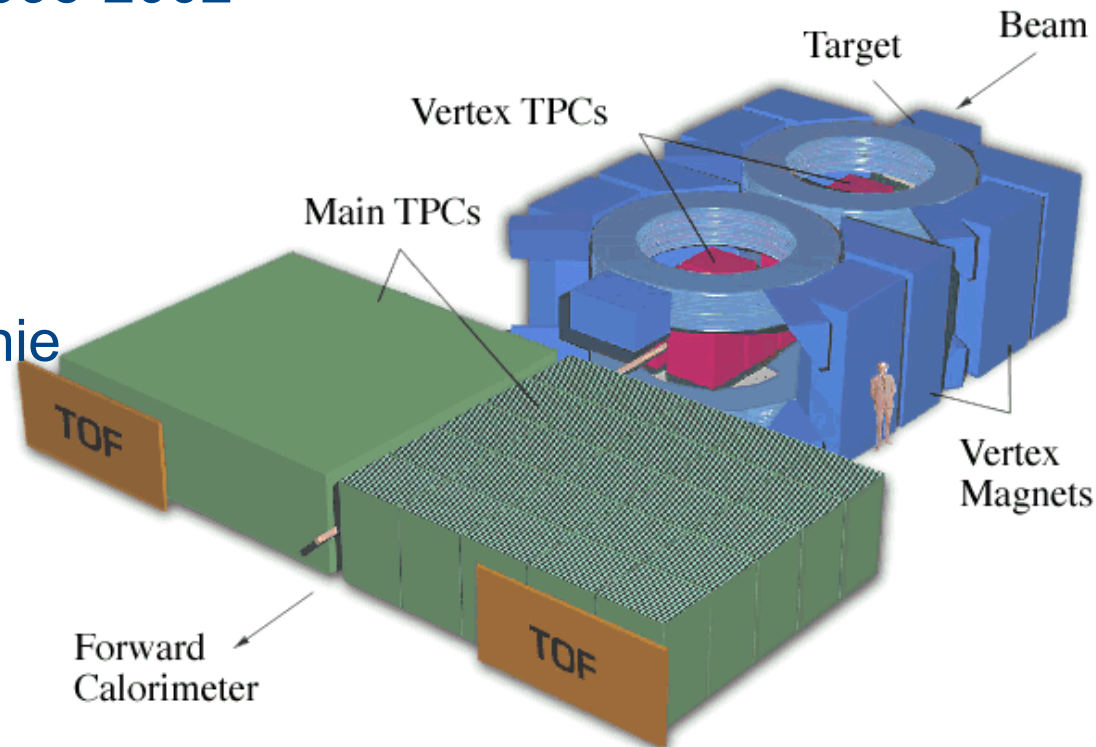
Eksperyment NA49



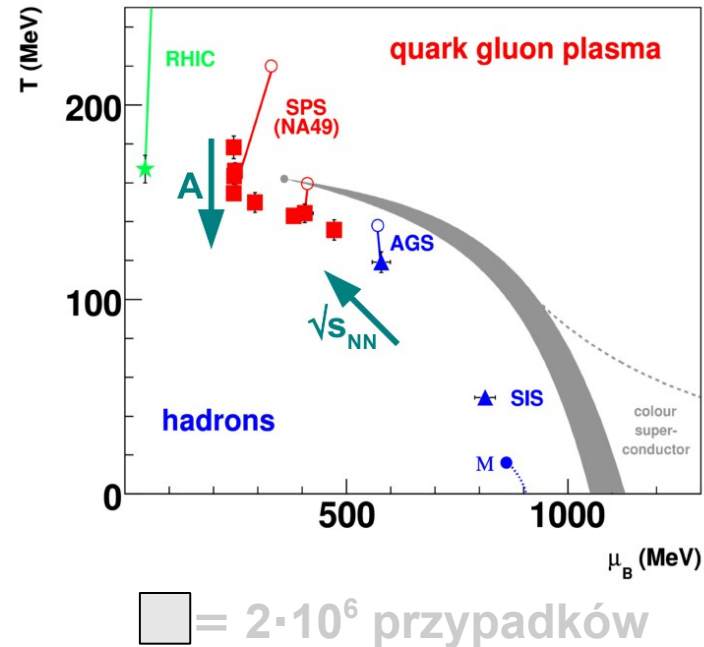
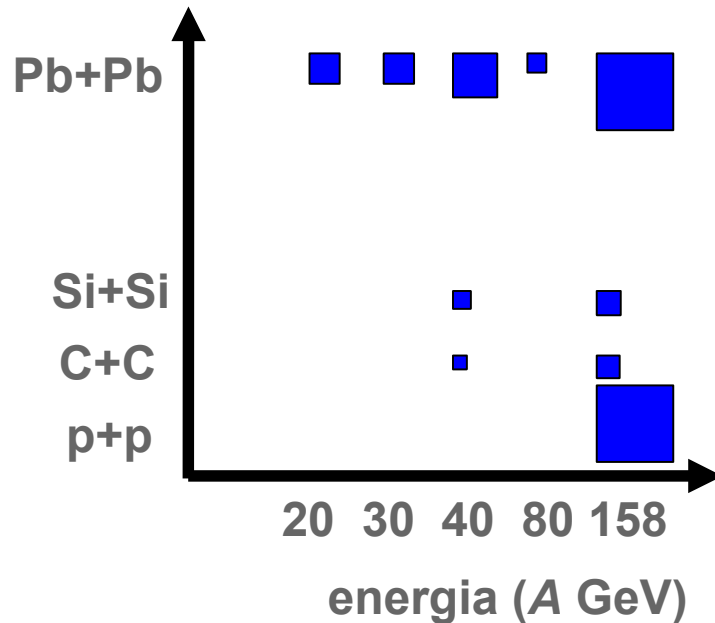
- Eksperyment przy akceleratorze SPS w CERNie
- Eksperyment na stacjonarnej tarczy, energia wiązki 20-158 GeV/A
- Zderzenia **Pb + Pb**, **p + Pb**, **p + p**, C + C, Si + Si
- Zbieranie danych w latach 1995-2002

Program fizyczny:

- Badanie własności silnie oddziałującej materii, w szczególności poszukiwanie progu na produkcję plazmy kwarkowo-gluonowej
- Badanie oddziaływań p + p i p + A



Dane zebrane w NA49



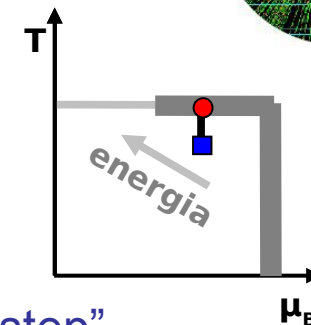
- Obserwacja anomalii w produkcji hadronów w zderzeniach Pb + Pb w zależności od energii → sygnatura przejścia fazowego QGP?
- Obserwacja anomalii we fluktuacjach w funkcji liczby zranionych nukleonów przy zderzeniach centralnych i w funkcji rozmiaru zderzanych systemów → jesteśmy blisko punktu krytycznego?

NA49: przejście fazowe?



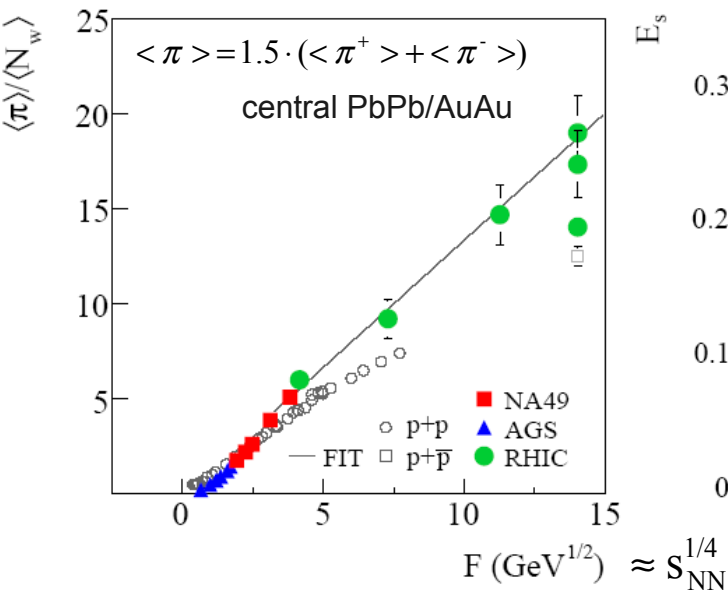
Przewidywane i obserwowane sygnatury: kink, horn, step

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



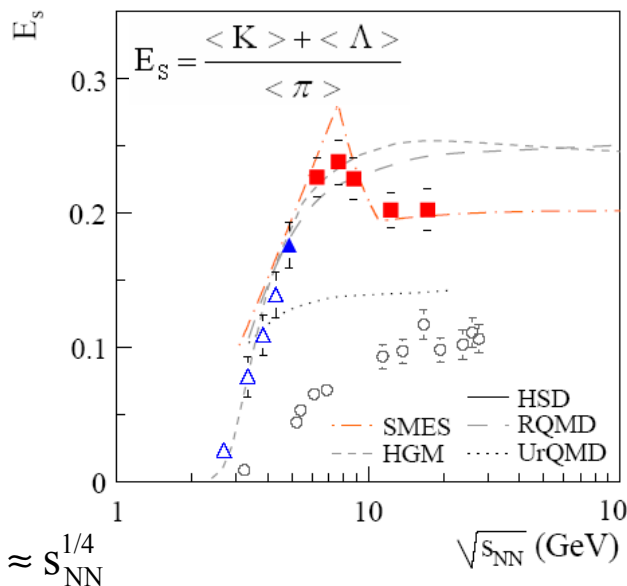
„kink”

krotność pionów na zraniony nukleon



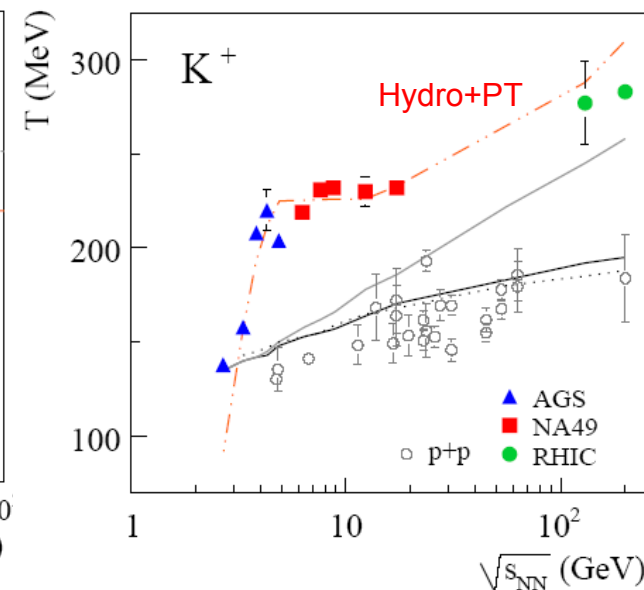
„horn”

stosunek liczby dziwnych cząstek do pionów



„step”

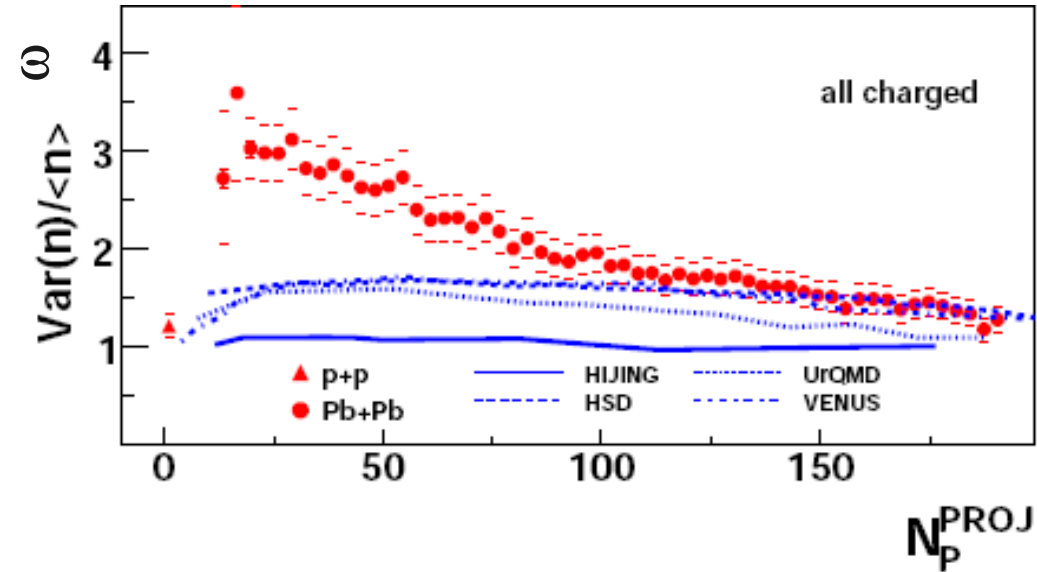
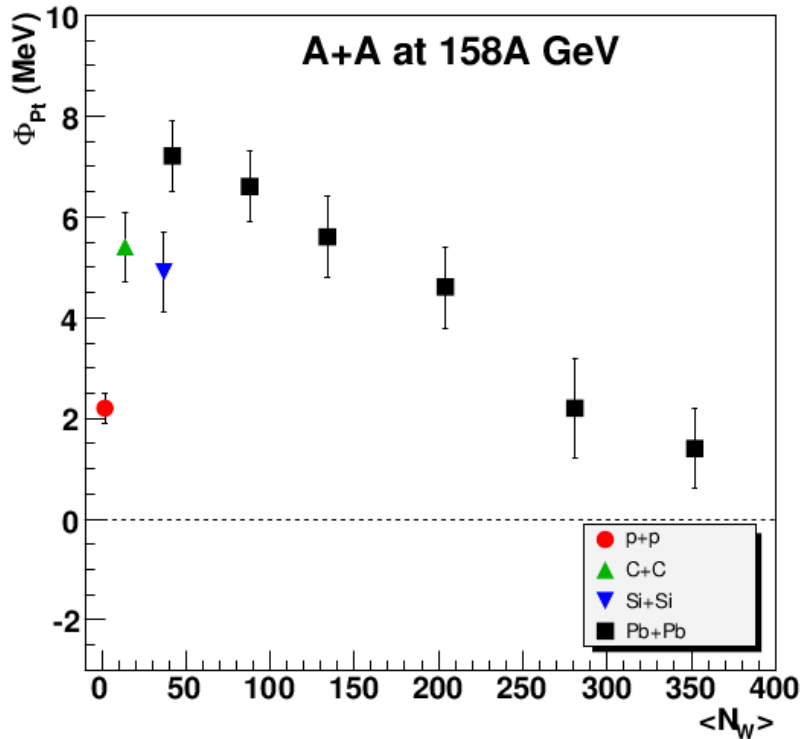
nachylenie widma masy poprzecznej



$$F \equiv \frac{(\sqrt{s_{NN}} - 2m_N)^{3/4}}{\sqrt{s_{NN}}^{1/4}} \approx S_{NN}^{1/4}$$

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

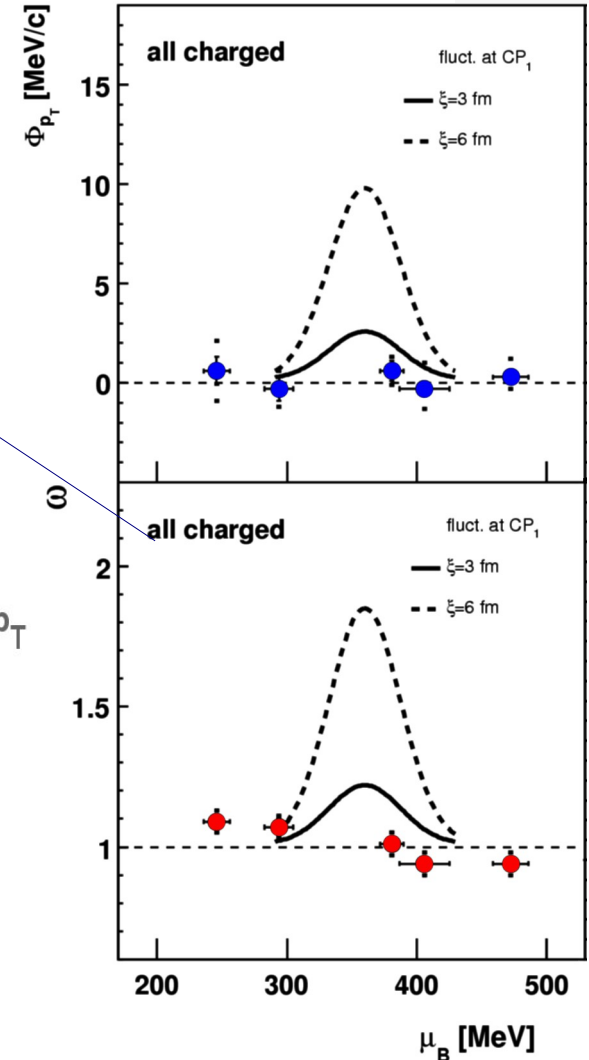
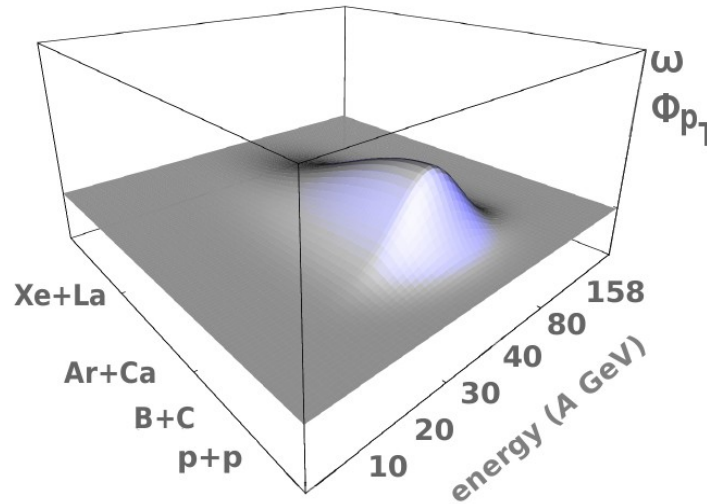
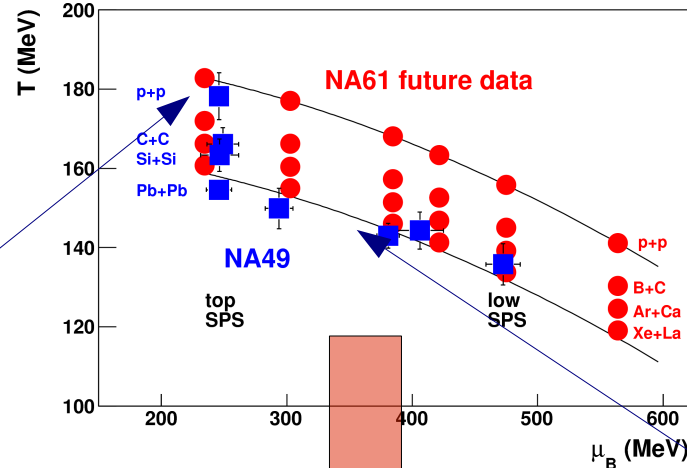
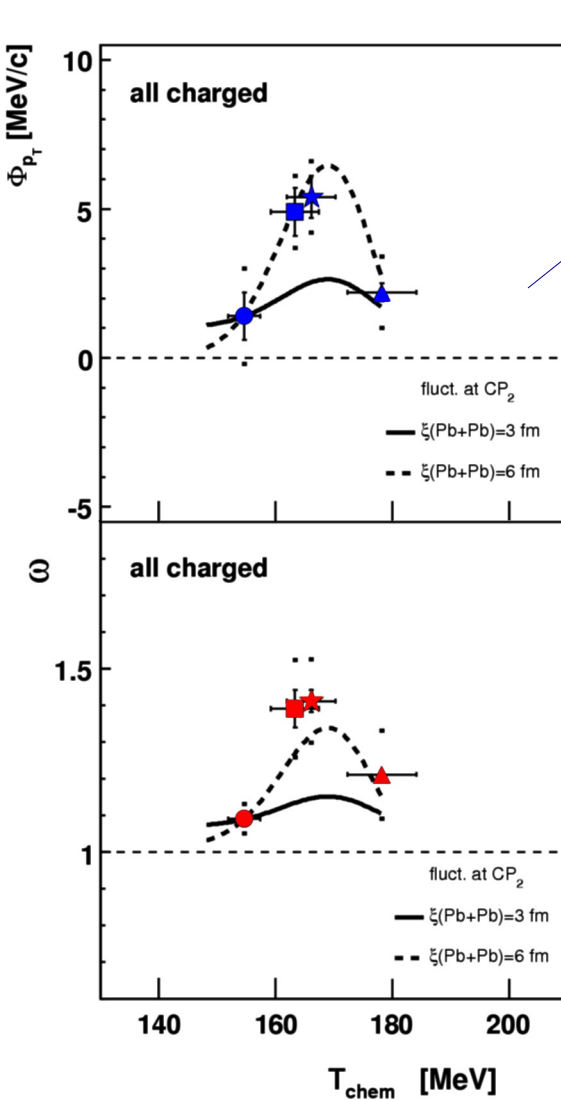
Widoczne fluktuacje w funkcji rozmiaru systemu - liczby nukleonów uczestniczących w oddziaływaniu.



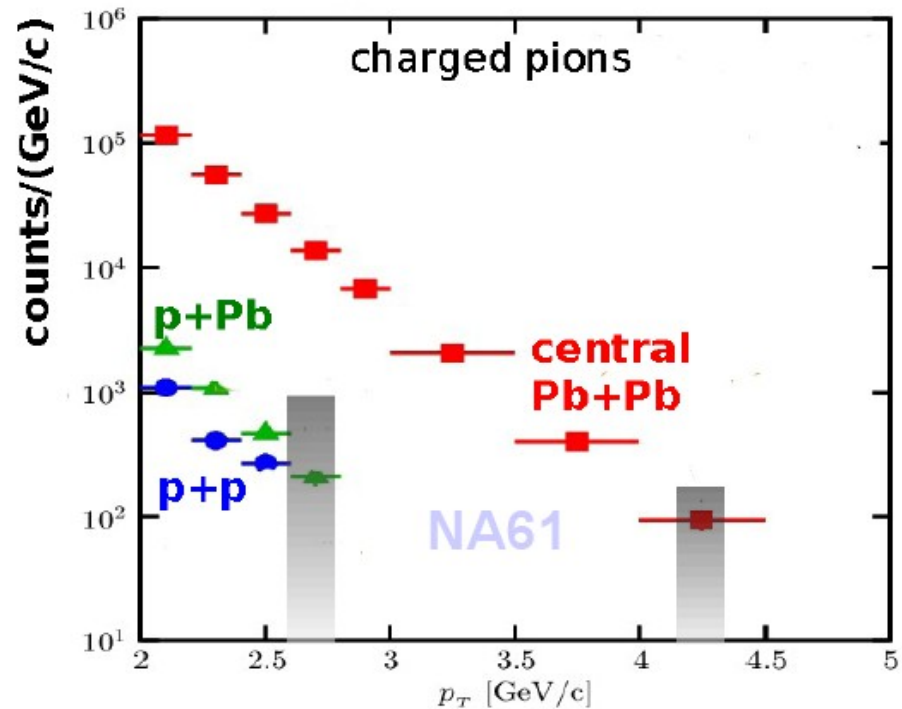
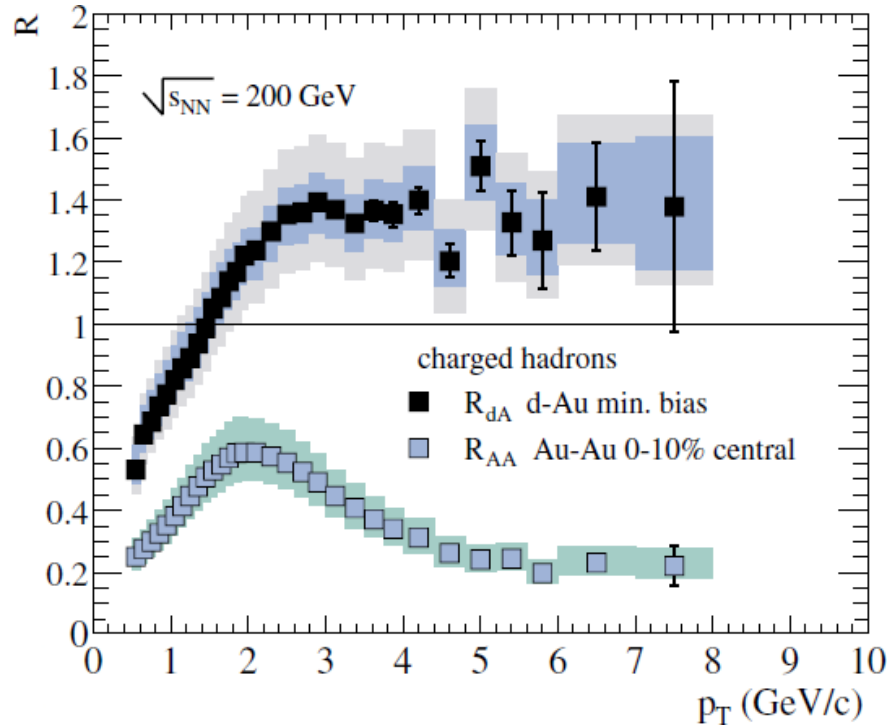
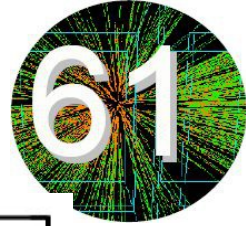
Phys.Rev.C75:064904,2007
arXiv:nucl-ex/0612010v2

NA61 Proposal: CERN-SPSC-2006-034, SPSC-P-330

NA49: fluktuacje



Program „duże p_T ”



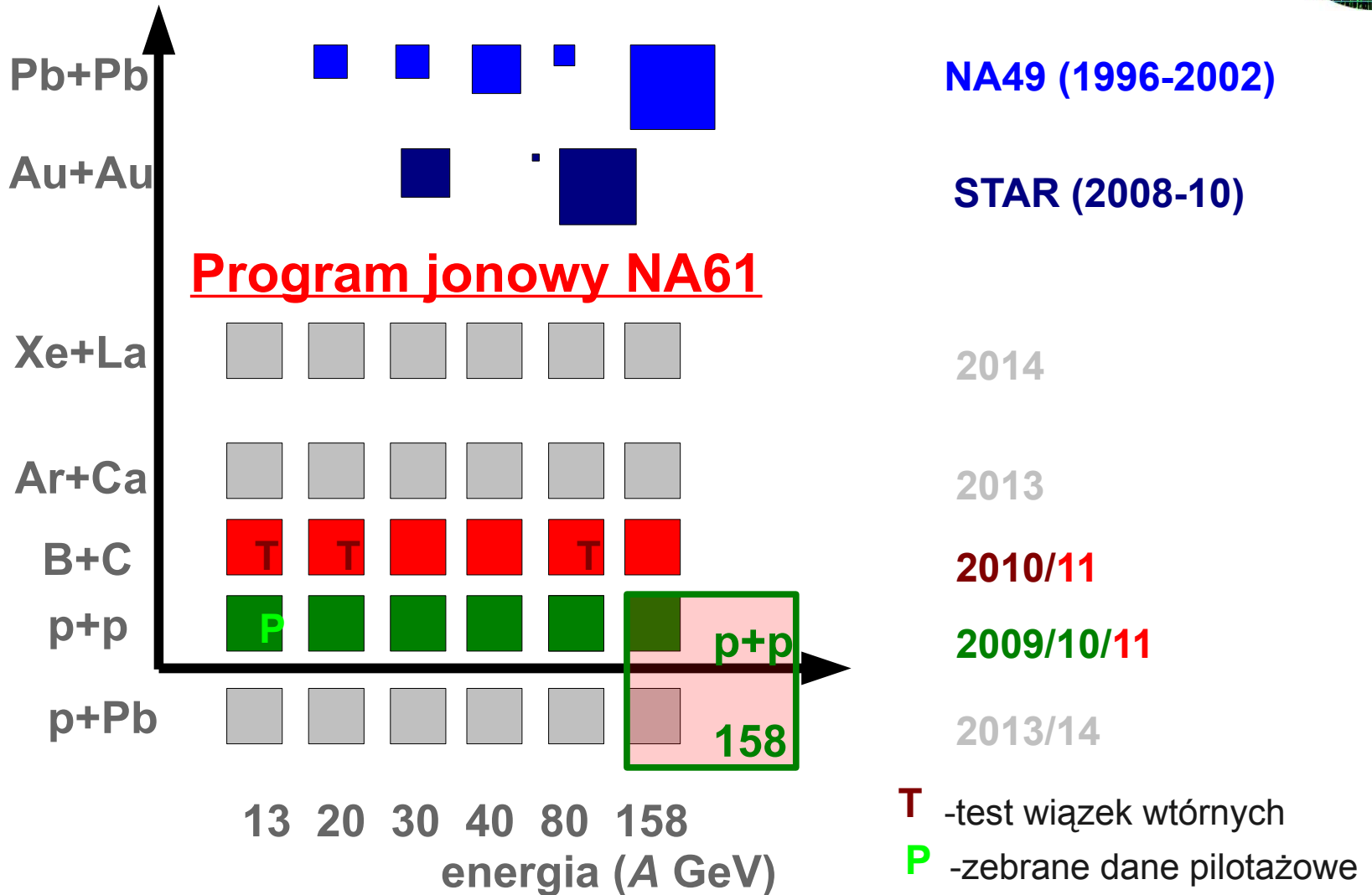
PHENIX, Phys. Rev. Lett. 91, 072303

- Program NA61: 50M zderzeń p + p i p + Pb @ 158 GeV
- Odniesienie do danych NA49 Pb + Pb @ 158 AGeV

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

współczynnik modyfikacji jądrowej

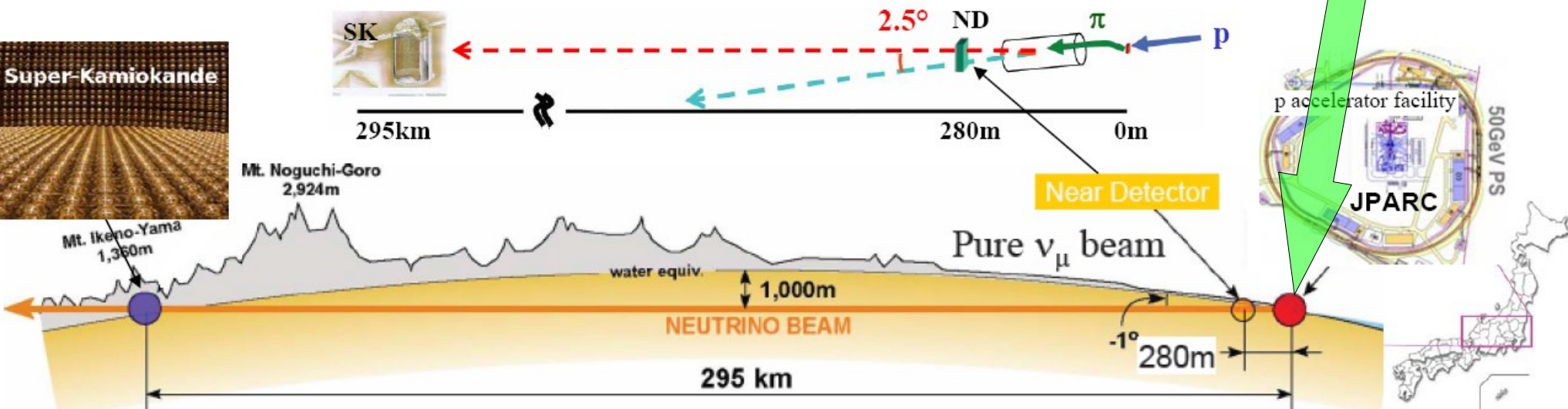
Program jonowy NA61



T2K



- Eksperyment neutrinowy z długą bazą
- Detektor bliski (280 m) i daleki (295 km)
- p (30-50 GeV/c) + C \rightarrow ... $\rightarrow \nu_{\mu}$
- Cel: precyzyjny pomiar oscylacji ν_{μ} (θ_{23} , Δm^2_{23})



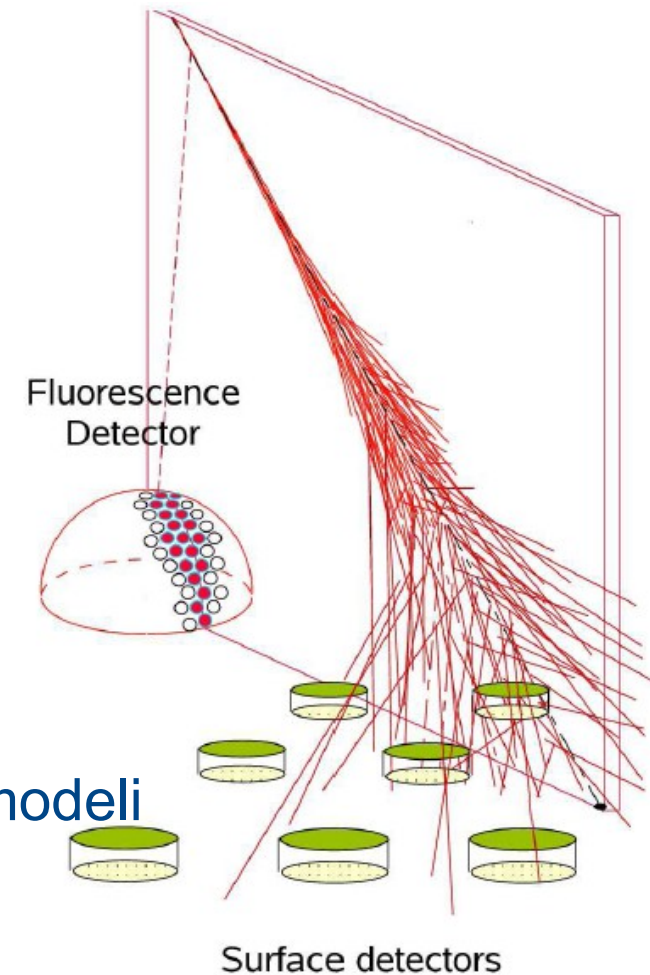


- Sygnał: ubytek ν_μ , nadmiar ν_e
- ν_μ pochodzą głównie z rozpadów π
- Tło: inne neutrino, głównie ν_e pochodzące z rozpadów K
- NA61 dostarczy informacji o produkcji pionów i kaonów w zderzeniach $p + C$
- W NA61 zebraliśmy 6M przypadków $p+C$, oraz 14M przypadków na **replice tarczy T2K**





- Eksperyment promieni kosmicznych w Argentynie
- Wciąż rozbudowywany, zbiera dane od 2004 roku
- Badanie pęków atmosferycznych
 - Pomiar optycznej fluorescencji
 - Naziemne detektory μ
- Identyfikacja cząstki pierwotnej poprzez symulację kaskady od dołu
- Problem: duża niepewność systematyczna modeli
- NA61: pomiary $p+C@30\text{GeV}$, $p+C@158$ (6M) & 350 GeV (5M)



Detektor NA61/SHINE

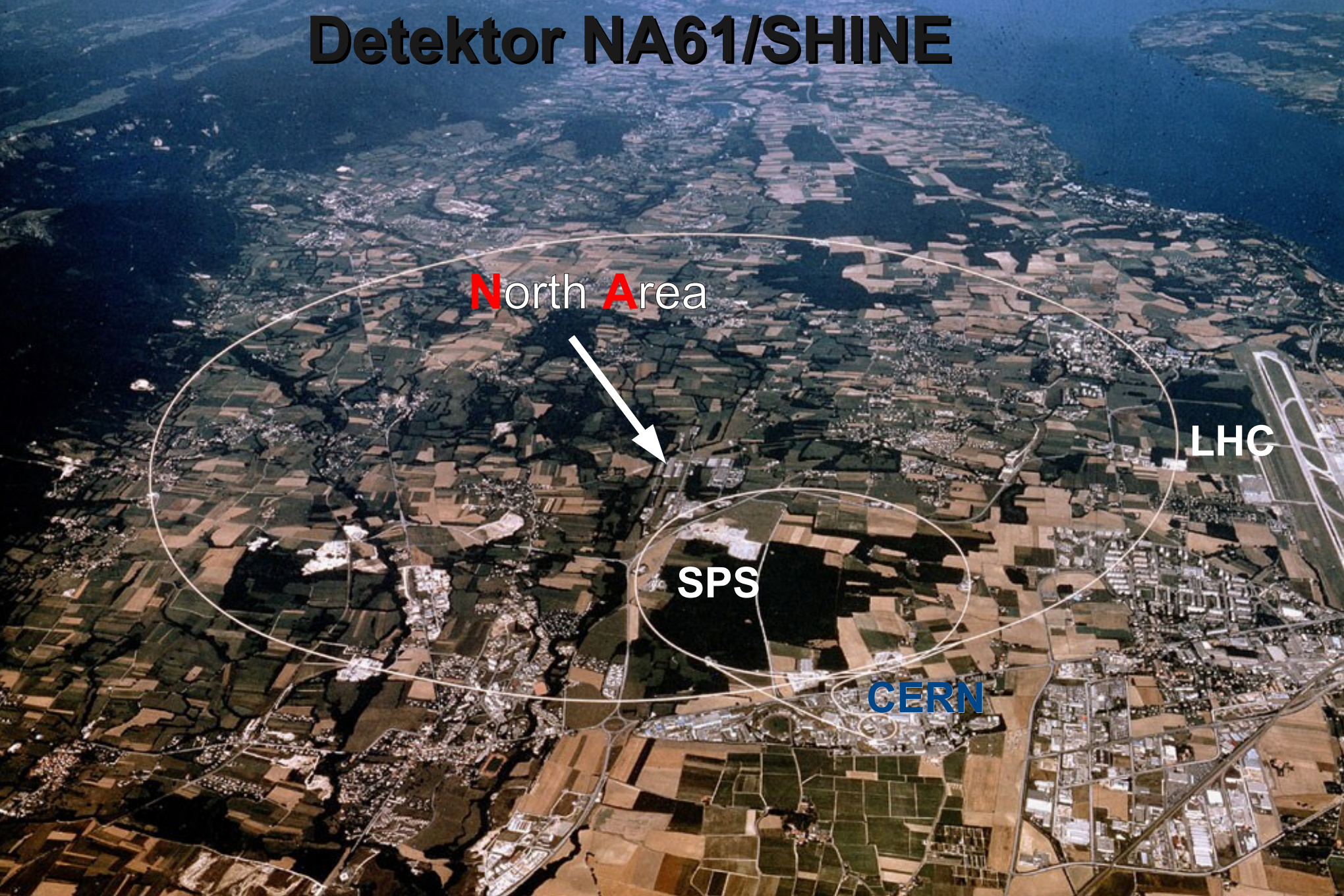
North Area



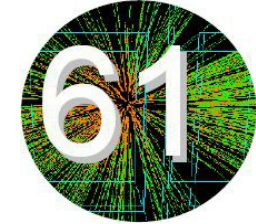
SPS

CERN

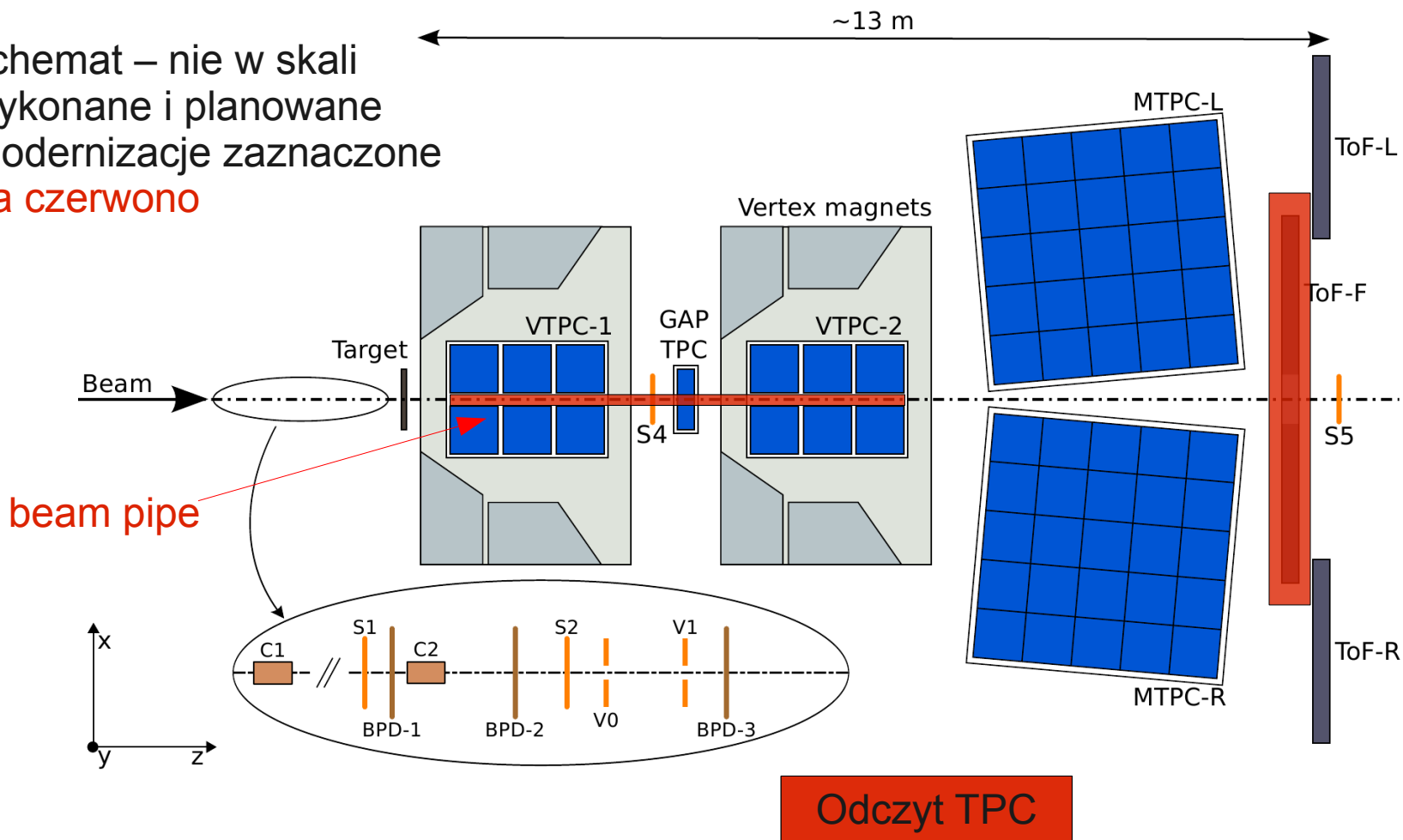
LHC



Detektor NA61

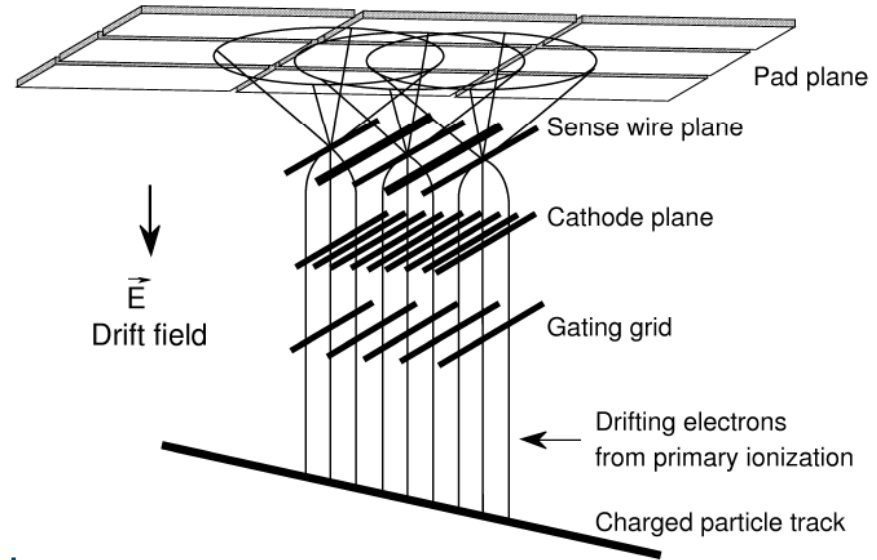
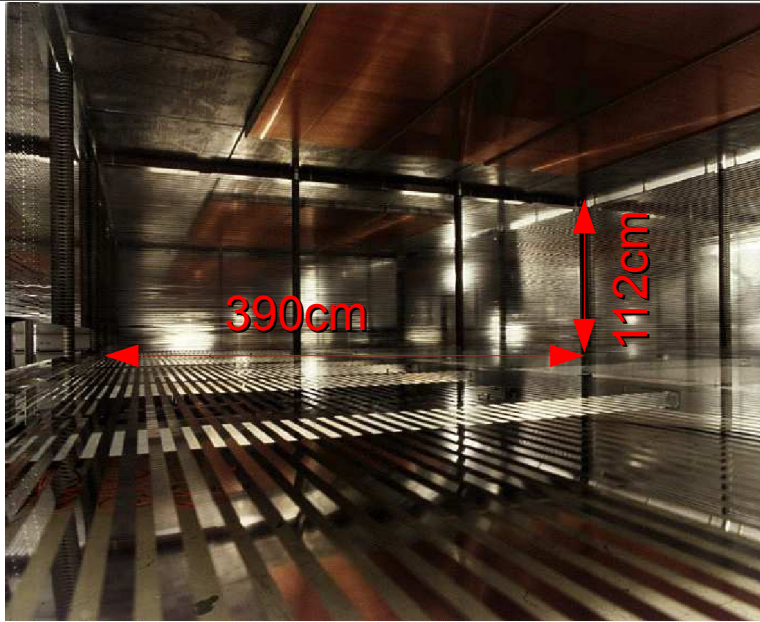


schemat – nie w skali
wykonane i planowane
modernizacje zaznaczone
na czerwono



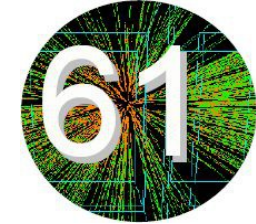
NA49: S. Afanasiev, et al. (NA49 Collaboration), Nuclear Instruments and Methods A430 (1999) 210
Modernizacje: CERN-SPSC-2006-034, SPSC-P-330

Komory projekcji czasowej (TPC)



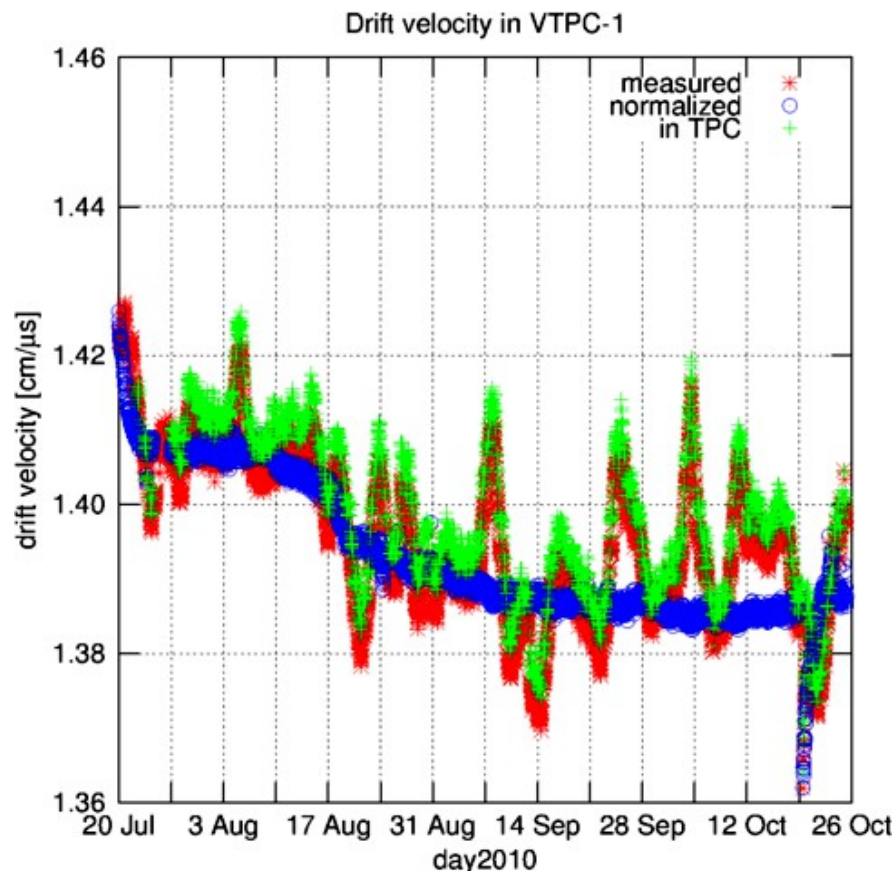
- Detektor śladowy cząstek naładowanych:
 - Pomiar na dwuwymiarowej siatce padów + pomiar czasu dryfu elektronów
 - Pole magnetyczne do 1.5 T: pomiar pędu: $\sigma p/p^2 = 0.3-7.0 \cdot 10^{-4} (\text{GeV}/c)^{-1}$
 - Pomiar strat energii dE/dx – identyfikacja cząstek
- 5 komór o łącznej objętości $\sim 40\text{m}^3$
- $>180\,000$ padów – odczytowych (44MB danych na przypadek)

Prędkość dryfu w TPC



- Pomiar prędkości dryfu w VTPC-1

- $y = v \cdot t$
- Droga dryfu $\sim 1\text{m}$
- Potrzebna precyzja $< 1\text{mm}$
- System gazowy zapewnia stałą wymianę i oczyszczanie mieszanki gazowej
- Prędkość dryfu jest stale mierzona w systemie detektorów

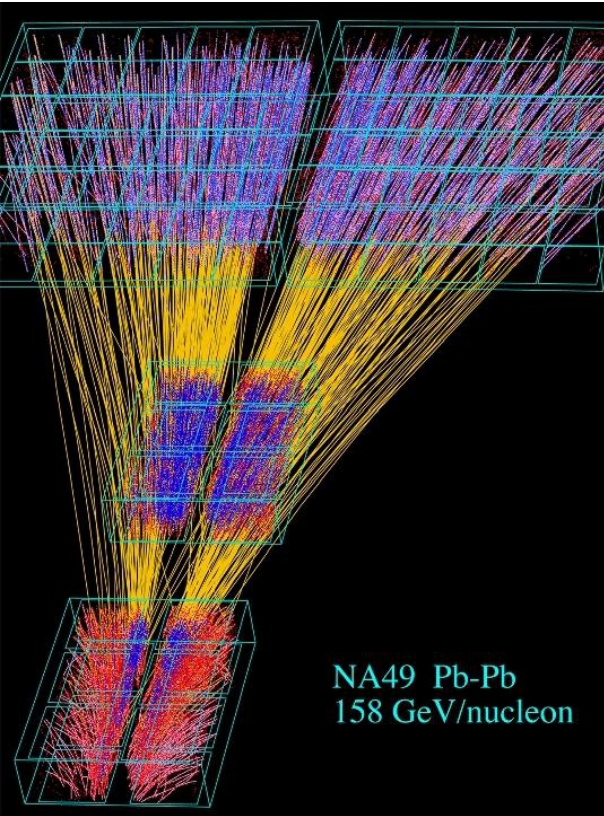


Rejestracja śladów w TPC



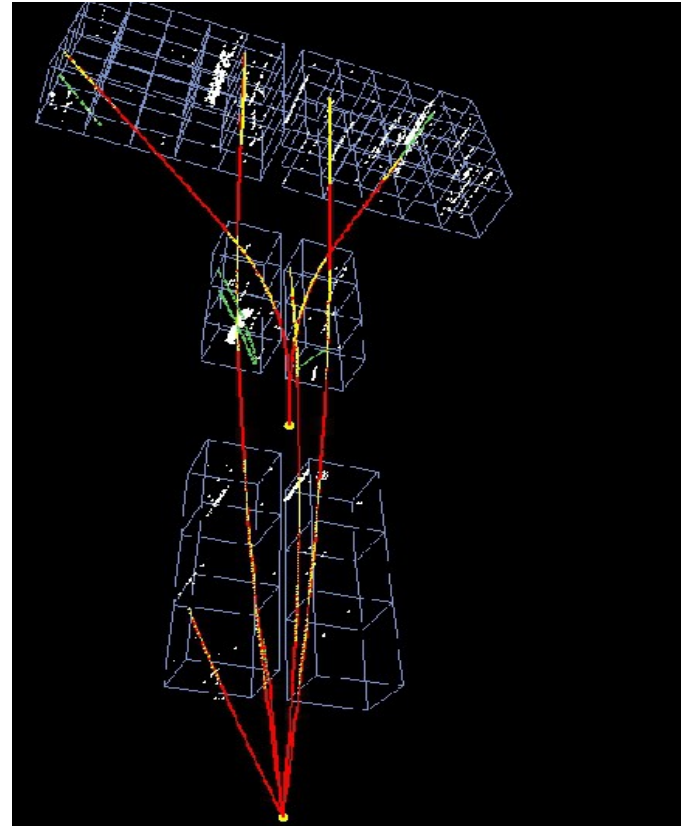
NA49

Pb+Pb @ 158 GeV/A



NA61

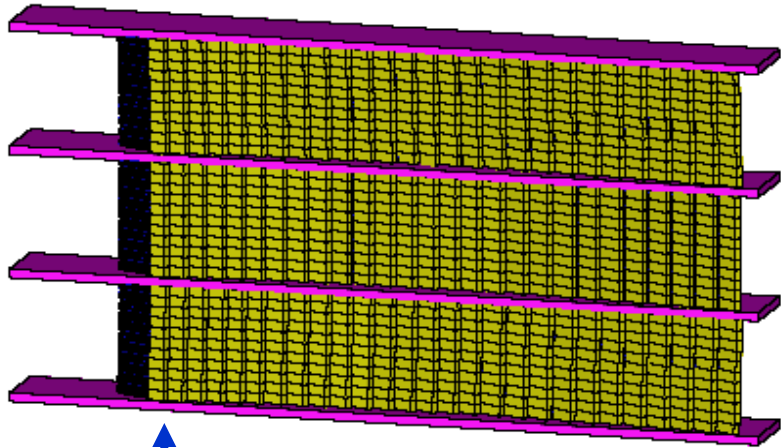
p+C @ 31 GeV/A



Detektory czasu przelotu



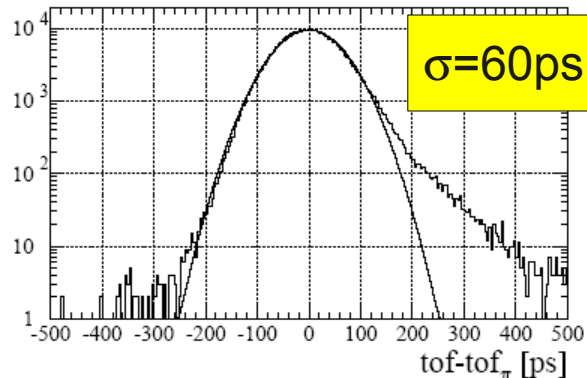
TOF-L/R



przekrycie 1 cm

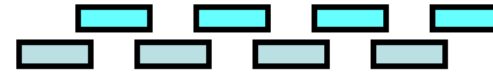
powierzchnia $\approx 2 \text{ m}^2$

3 półki po
27 kaset
891 kanałów

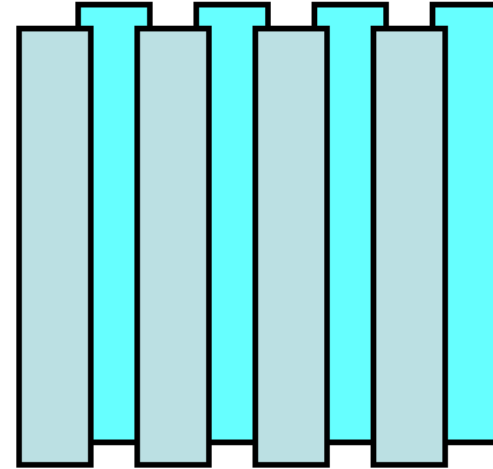


TOF-F

top view)



front view)

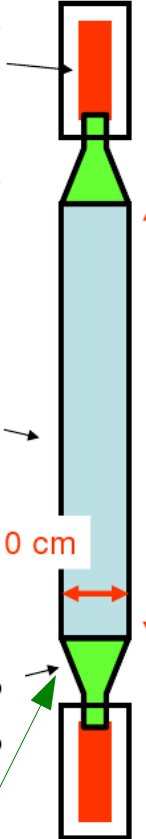


64 staggered scintillator bars
(10 mm overlap, might be reduced to 6 mm)

120 cm

577 cm

photomultiplier



scintillator BC-408

10 cm

120 cm

light guide

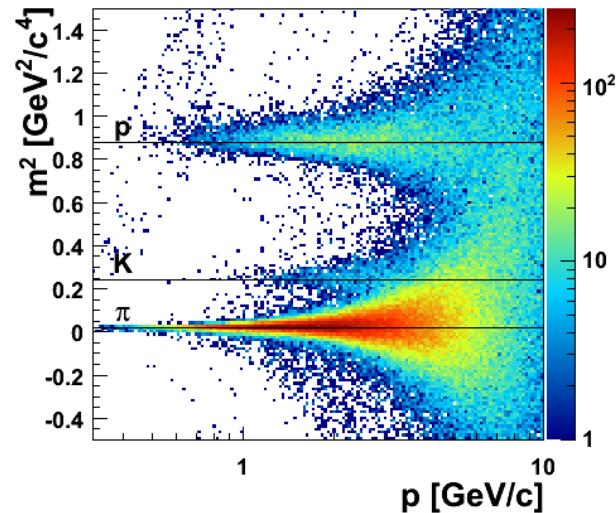
światłowody wykonane w Warszawie

Identyfikacja cząstek w TOF i TPC



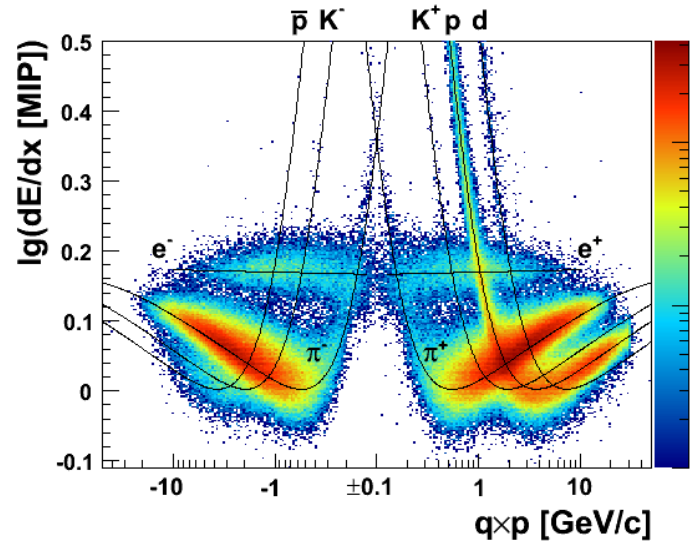
TOF

Pomiar czasu przelotu pozwala na obliczenie masy w niskich i średnich pędach



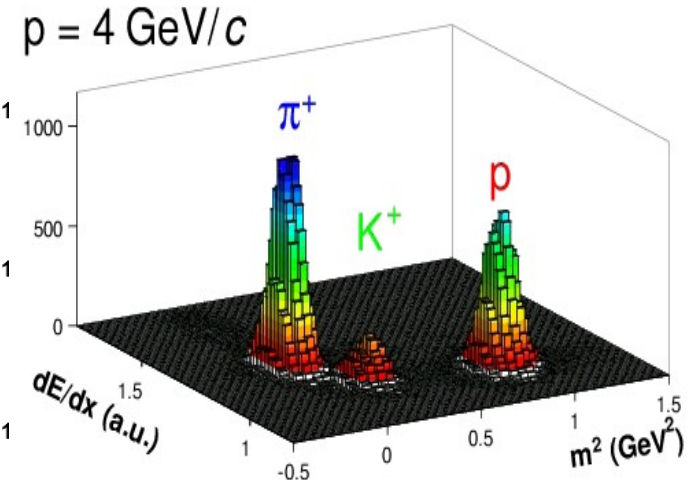
TPC

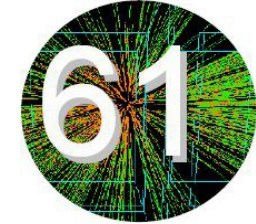
Pomiar strat energii pozwala na identyfikację w niskich i wysokich pędach



TOF+TPC

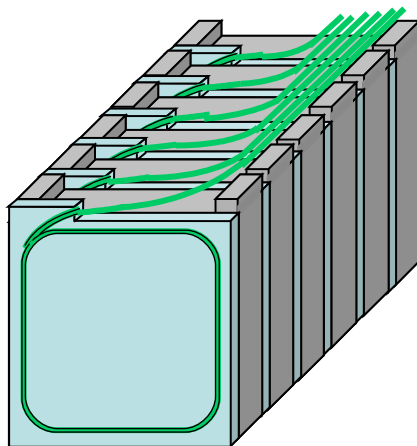
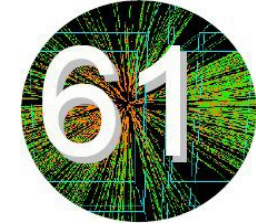
Połączenie obu metod pozwala zwiększyć skuteczność identyfikacji



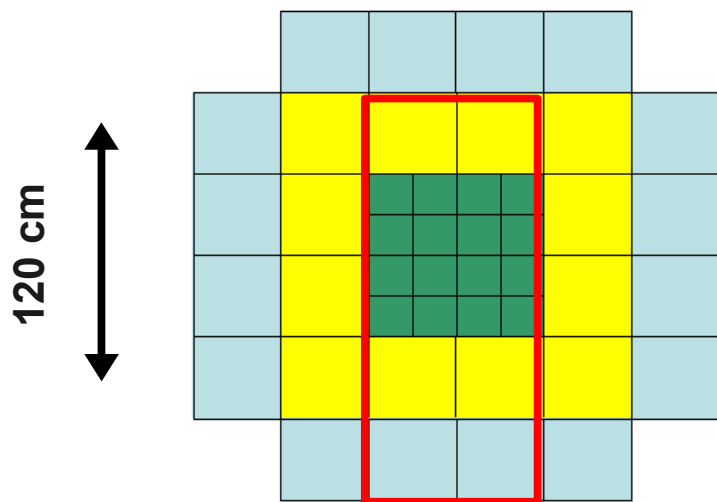
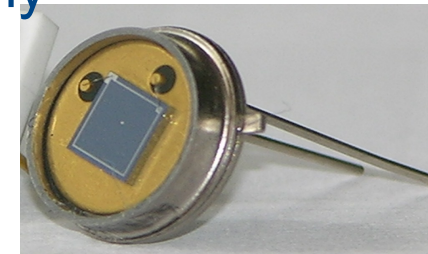


- Alternatywna metoda identyfikacji π^- :
 - Większość cząstek ujemnych w detektorze to π^- .
 - Udział pozostałych cząstek można potraktować jako drobną domieszkę i usunąć je stosując poprawki Monte Carlo
 - Ta metoda pozwala pokryć największy obszar przestrzeni fazowej

Projectile Spectator Detector



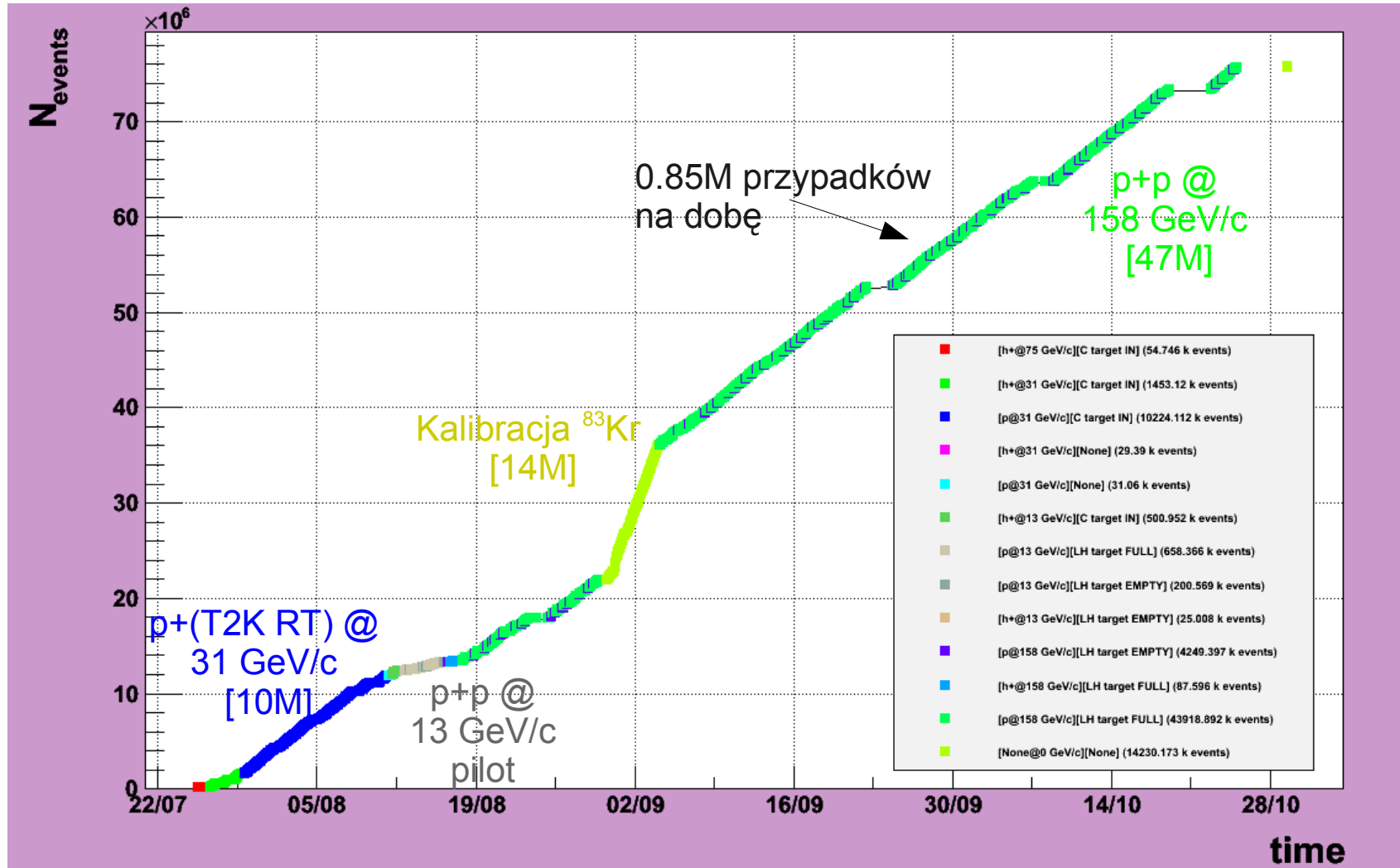
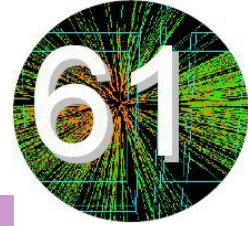
- Kalorymetr kompensacyjny
- Pb/scyntylator 4/1
- odczyt z użyciem MAPD
- Liniowa odpowiedź dynamiczna w zakresie 10-30000 GeV
- moduły $10 \times 10 \times 120 \text{ cm}^3$ i $20 \times 20 \times 120 \text{ cm}^3$
- Spodziewana docelowa rozdzielczość $55\%/\sqrt{E}$



44 moduły (2010: 22 moduły)

Longitudinally segmented lead/scintillator hadron calorimeter with micro-pixel APD readout Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment Volume 598, Issue 1, 1 January 2009, Pages 268-269

Dane zebrane w 2010 roku



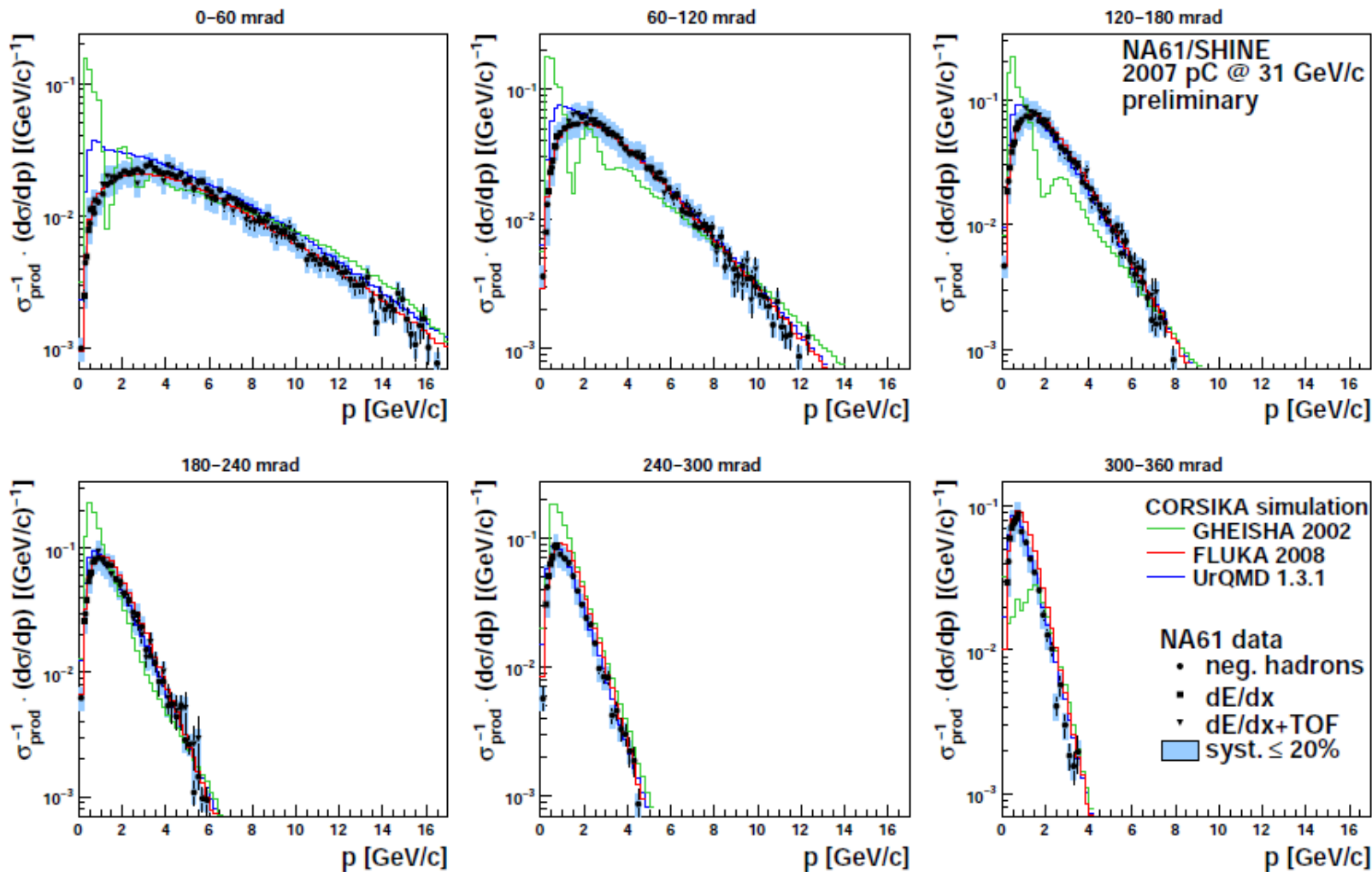
Plany na następne lata



wiązka pierwotna	wiązka wtórna	tarcza	energie wiązki	rok	statystyka	fizyka
Pb	¹¹ B	C	13,20,30,40,80,158 13,20,30,40,80,158	2011	6x10	CP&OoD
p	p	Pb	400 158	2013	77	High p _T
Ar		Ca	13,20,30,40,80,158	2013	6x8	CP&OoD
p	p	Pb	400 13,20,30,40,80,158	2014	6x7	CP&OoD
Xe		La	13,20,30,40,80,158	2014	6x8	CP&OoD

p+p @ 13 GeV/c is not yet in the schedule.

Pierwsze rezultaty: dane 2007



Widma π^- w zderzeniach p+C @ 31 GeV

Podsumowanie



- Potencjał odkrywczy (punkt krytyczny)
- Precyzyjne pomiary (badanie własności przejścia fazowego, duże pędy poprzeczne)
- Dane referencyjne dla eksperymentów neutrinowych i promieni kosmicznych

- Stosunkowo niewielki koszt modernizacji detektora
- Detektor poznany, opracowane metody analizy danych

- Pierwsze wyniki analizy potwierdzają celowość programu i demonstrowują możliwości detektora



Dziękuję

NA61 i inne eksperymenty



Akcelerator:	SPS	RHIC	NICA	SIS-100 (SIS-300)	LHC
Laboratorium:	CERN Geneva	BNL Brookhaven	JINR Dubna	FAIR GSI Darmstadt	CERN Geneva
Eksperyment:	NA61/SHINE	STAR PHENIX	MPD	HADES, CBM	ALICE ATLAS CMS
Start:	2009(11)	2010	2016	2017 (2019)	2009
Energia (\sqrt{s}): [GeV/(N+N)]	5.1 – 17.3	7.7 (6.3?) – 39	4 – 11	2.3 – ~5 (~5 – 8.5)	5500 14000 (p+p)
Fizyka:	CP & OD	CP & OD	OD & HDM	HDM (OD & CP)	PDM

CP = *Critical Point*
OD = *Onset of Deconfinement*
HDM = *Hadrons in Dense Matter*
PDM = *Partonic Dense Matter*

NA61 – historia

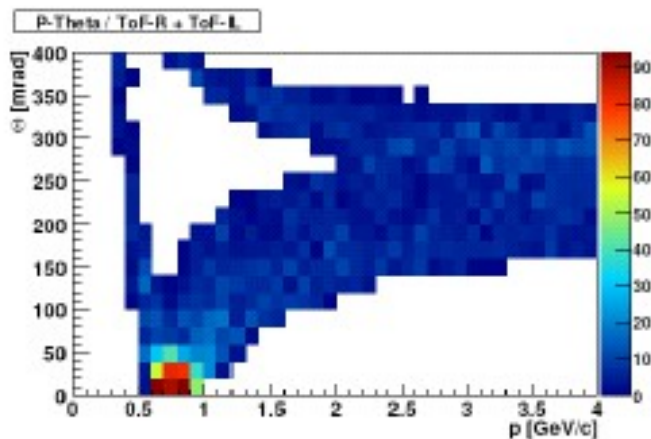
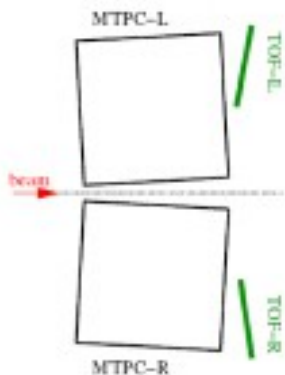


- **2003** – Expression of interest
- **2006** – testowy run *NA49-future*.
- **2007** – pilotażowe dane p+C @ 30 GeV dla eksperymentu T2K:
- **2008** – Najtrudniejsza modernizacja: elektronika odczytowa: 70Hz (10x większa częstość zbierania przypadków niż w NA49)
 - Run przerwany awarią w LHC we wrześniu.
- **2009** – Dane p+p – 5 energii, i dane p+C i π +C dla T2K i Pierre Auger
- **2010** – Dane p+p – 47M przypadków p+p@158GeV/c, p+C dla T2K
 - Testy wiązek jonowych i kalorymetru PSD

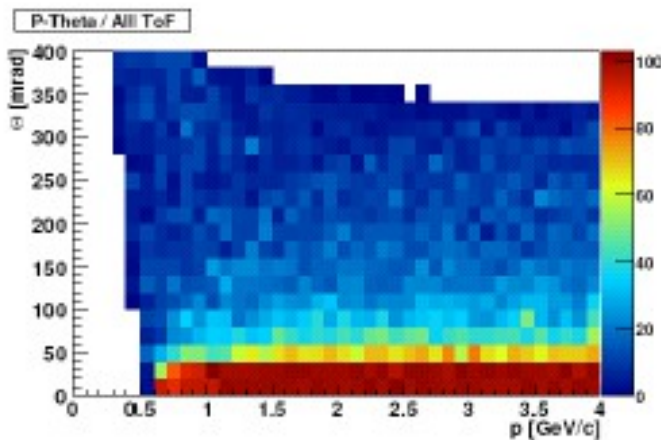
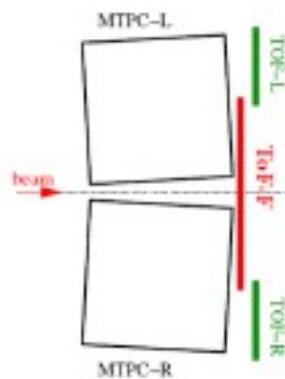
Nowy detektor czasu przelotu



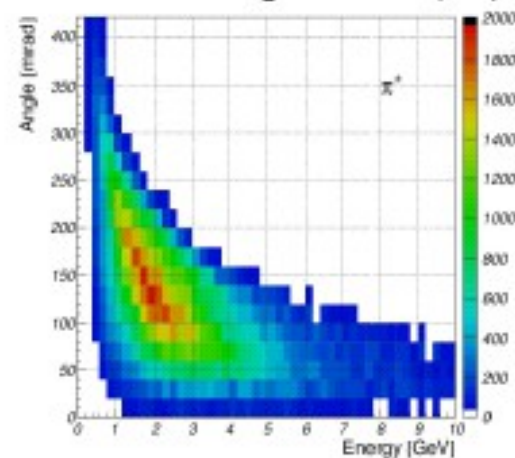
Without ToF-F



With ToF-F

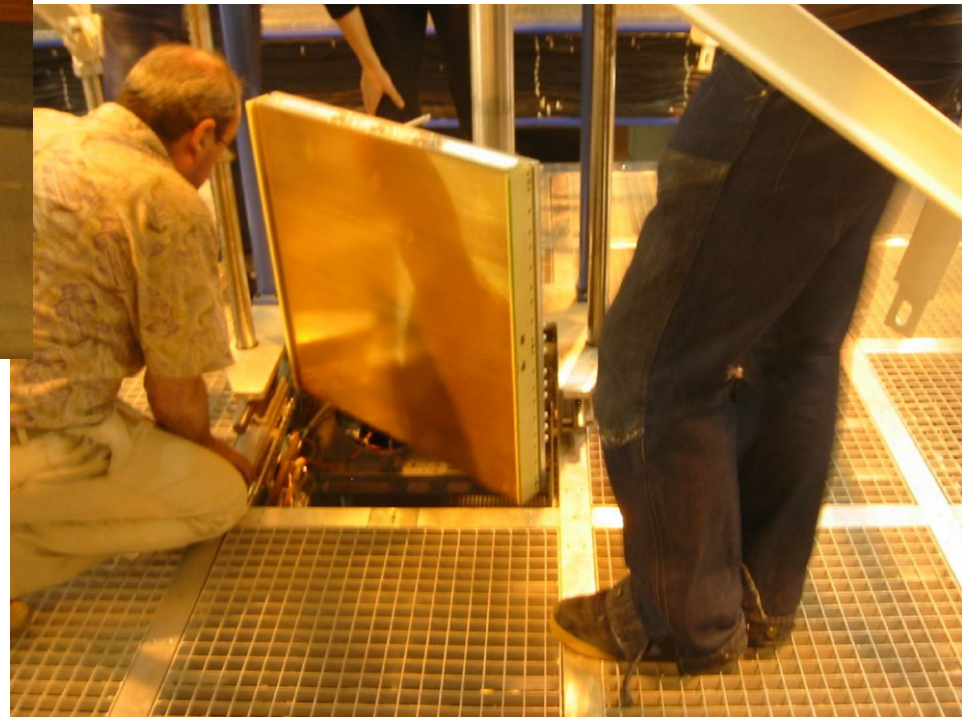
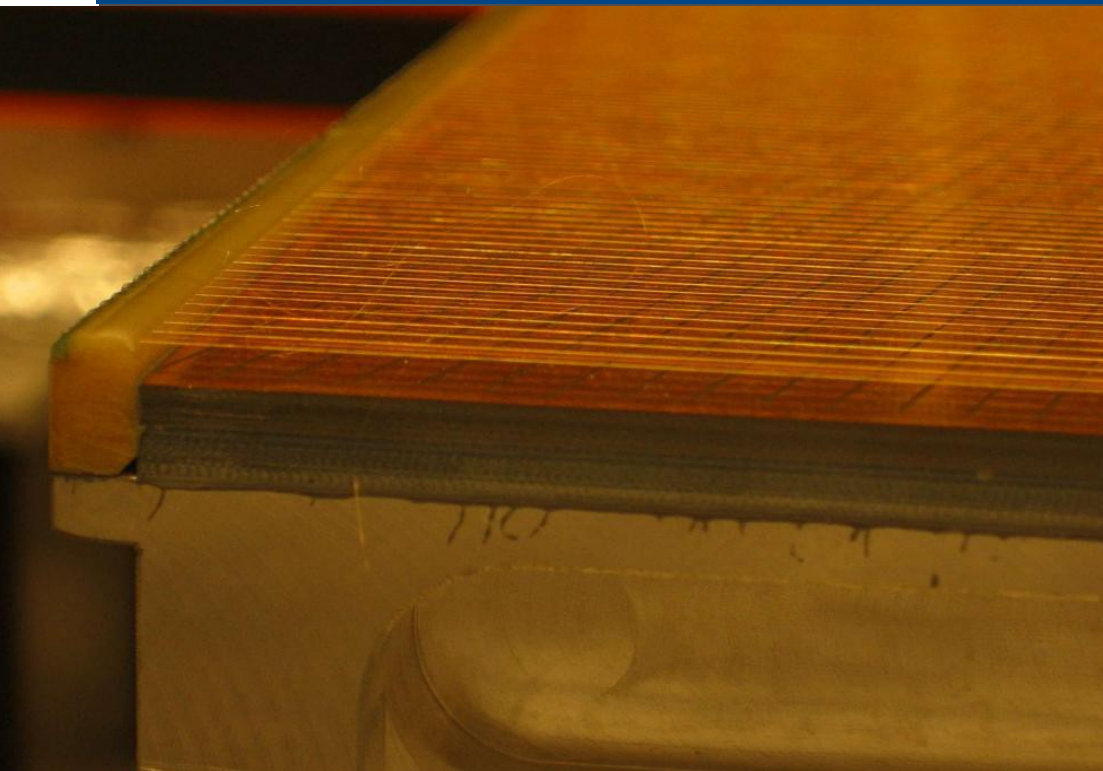


π contributing to ν flux (SK)



- zwiększona akceptacja dzięki nowym detektorom czasu przelotu
- Pełne pokrycie przestrzeni fazowej wymaganej przez T2K

TPC

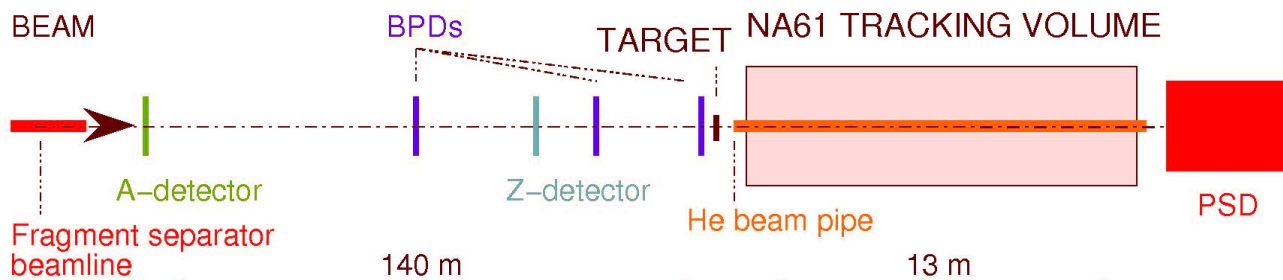
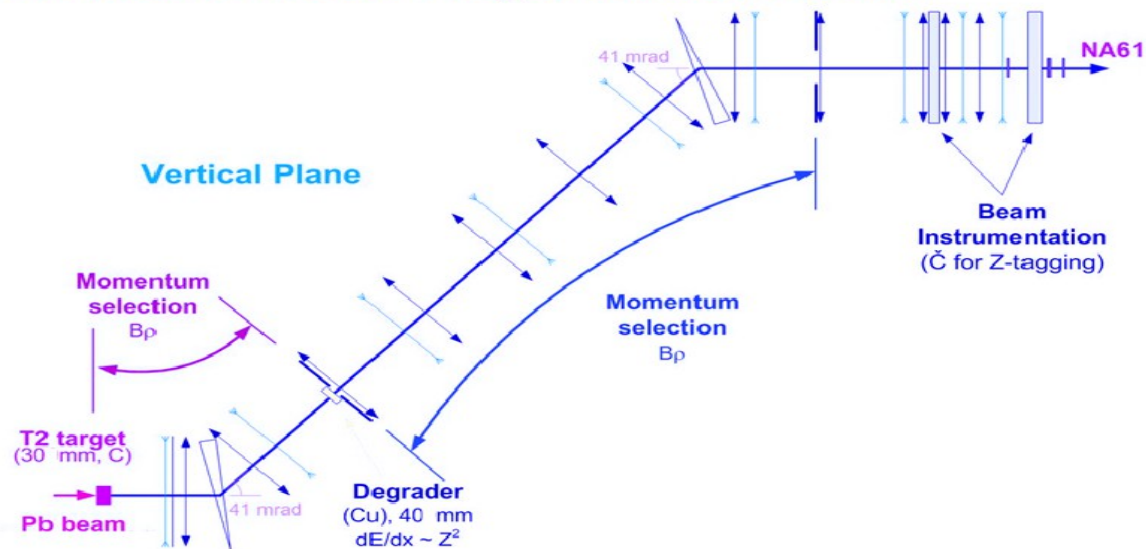


Produkcja wiązki jonowej



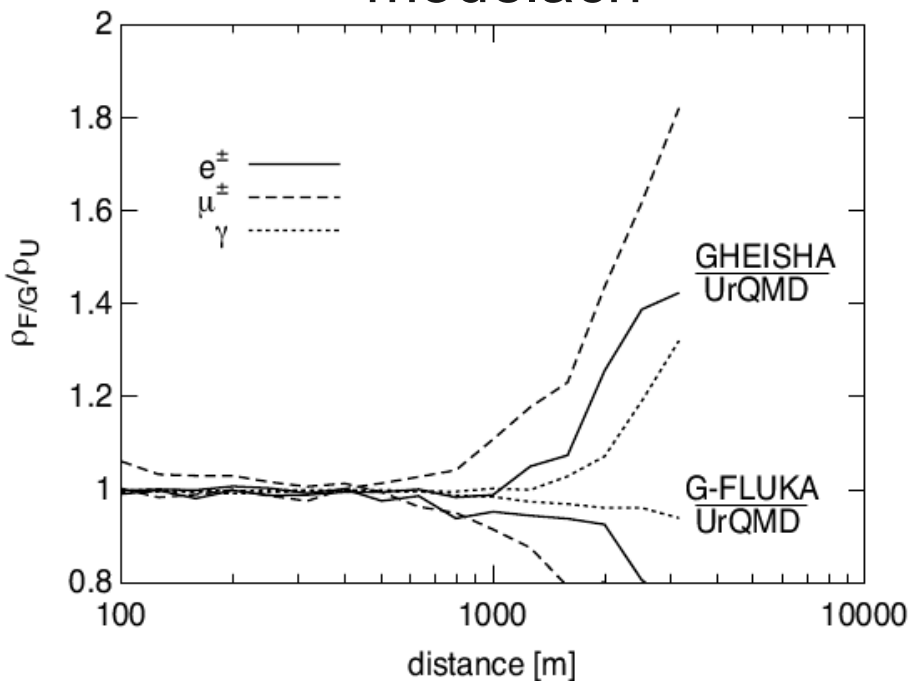
Testy wtórnej wiązki jonowej 13A, 20A and 80A GeV
– właśnie trwają

H2 Beam Line for Fragmented Ion Beam

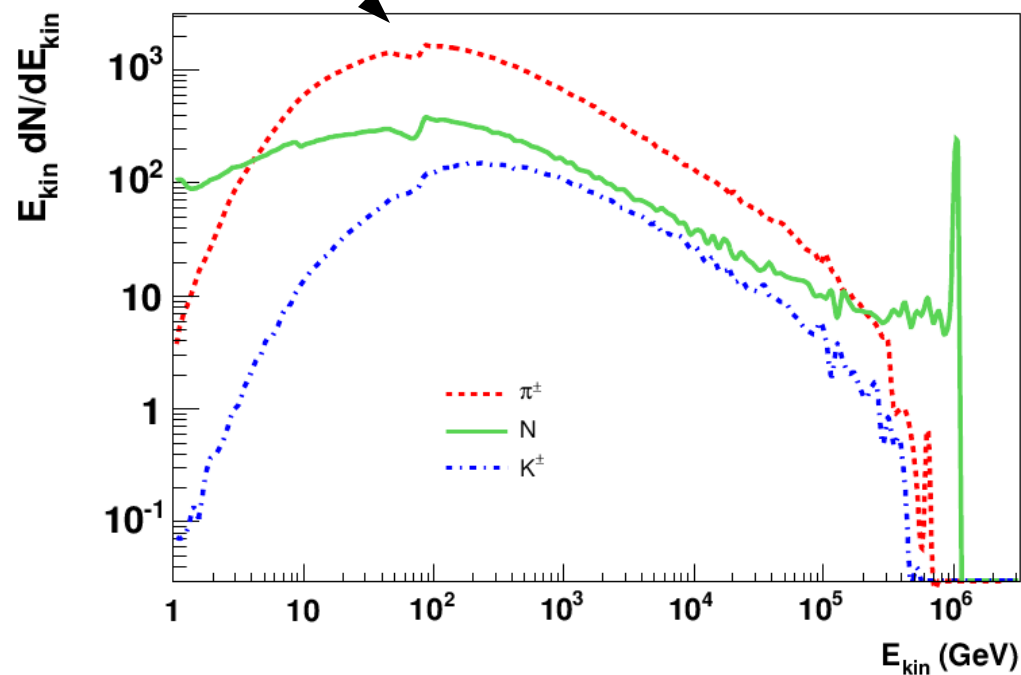




Stosunki krotności cząstek w pęku obliczane w różnych modelach



Rozkład energii w rozpadach
Nieciągłość przy zmianie modeli

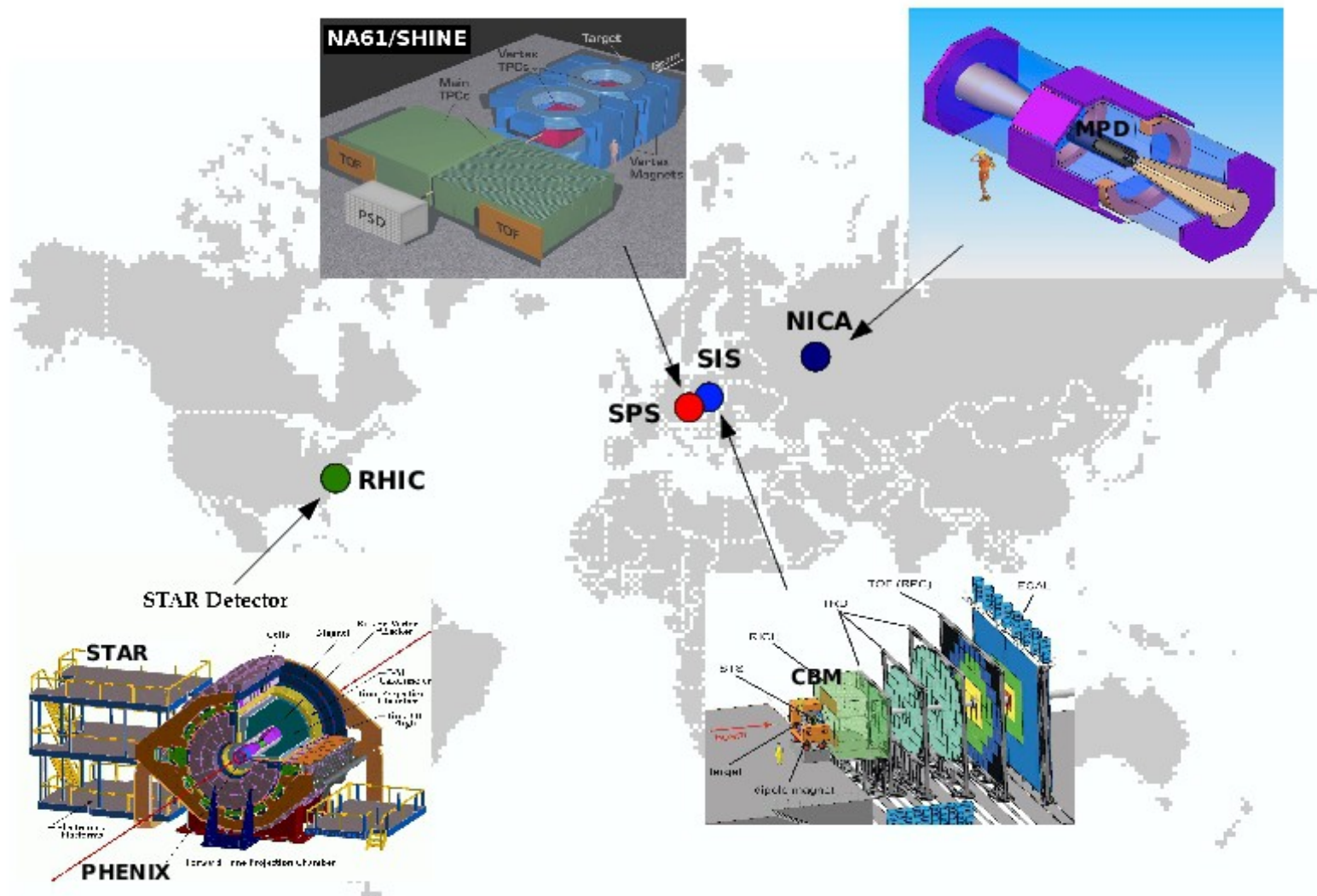


NA61: badanie zderzeń $p + C$ (30 GeV) oraz $\pi + C$ (160, 300 GeV)

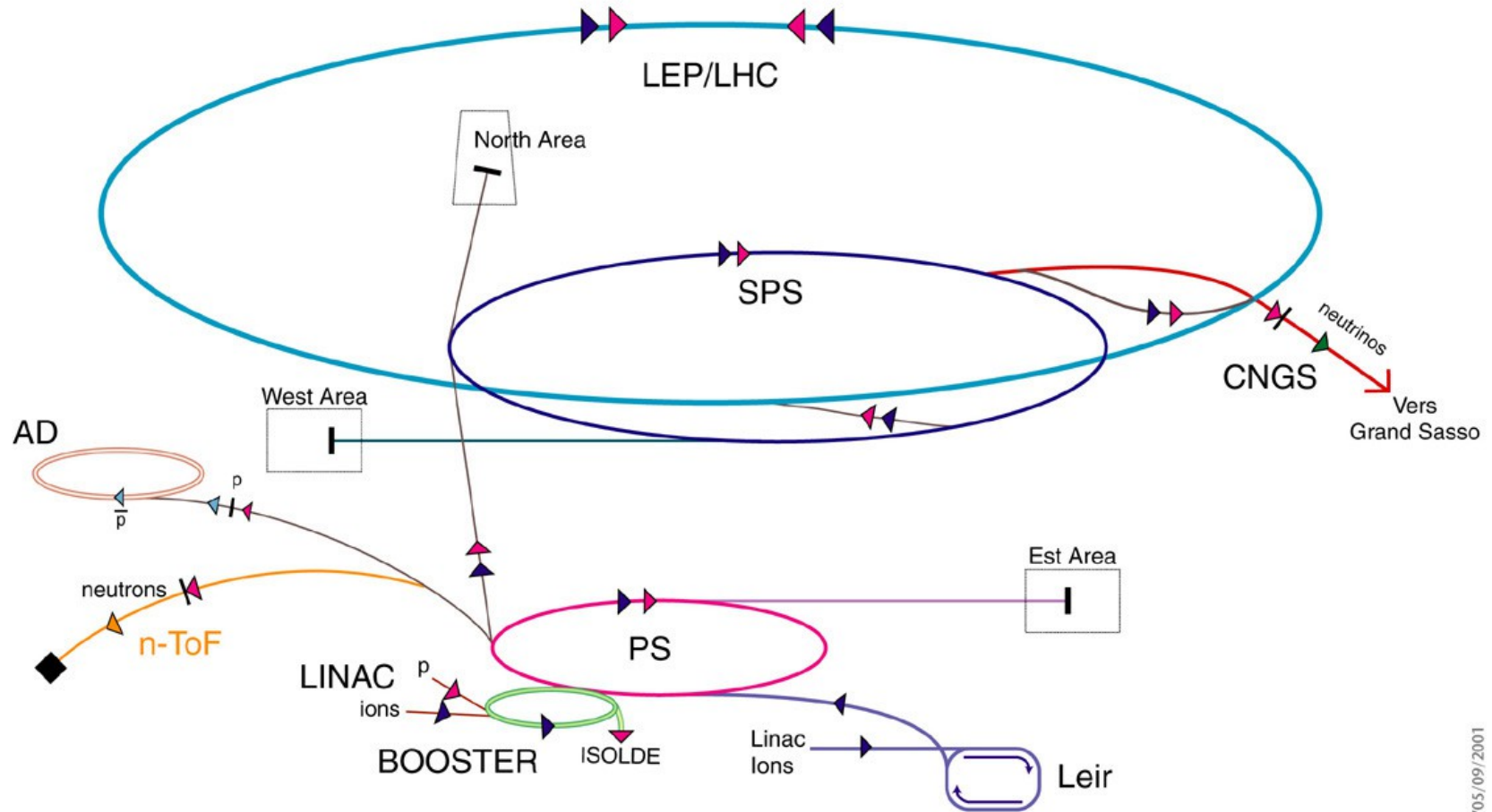
Dodatkowe slajdy



Experimental landscape of complementary programs of nucleus-nucleus collisions around the SPS energies



Akceleratory w CERNie



i_V05/09/2001



$$\phi_{p_T} = \sqrt{\frac{\left\langle \left(\sum_i p_{T_i} - \overline{p_T} \right)^2 \right\rangle}{\langle N \rangle}} = \sqrt{\left(p_T - \overline{p_T} \right)^2}$$

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

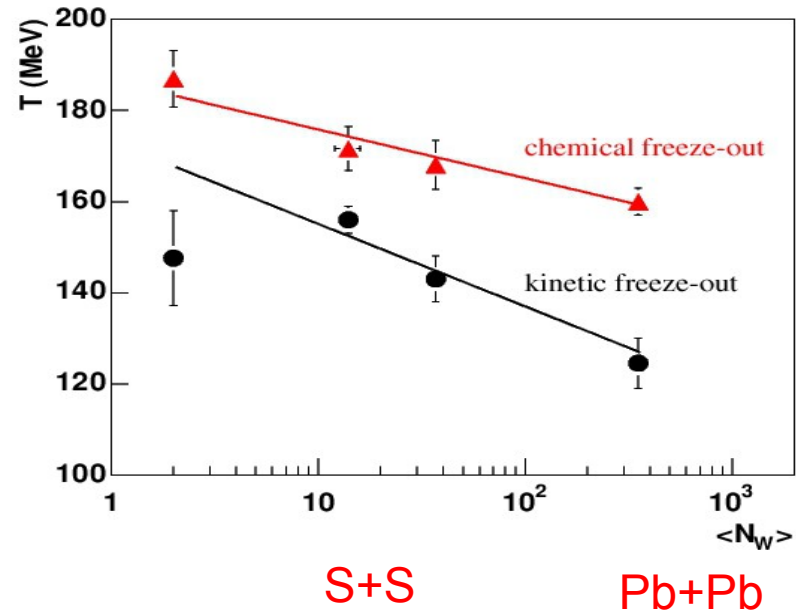
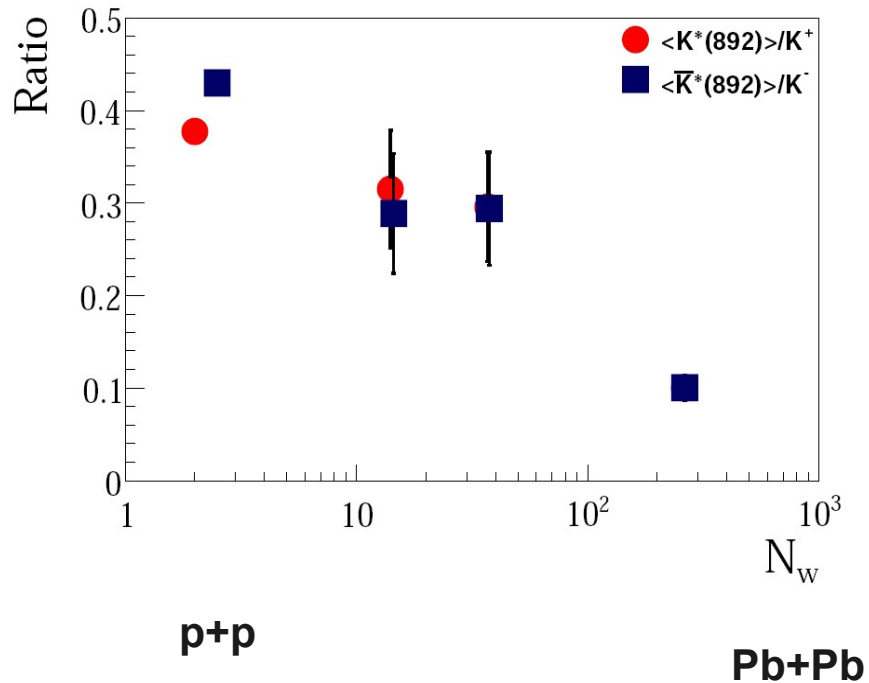
Temperatura wymrożenia chemicznego



Resonances in central Pb+Pb collisions: The long lasting hadronic phase

158A GeV

A+A at 158A GeV



NA49: M. Słodkowski