Eksperyment CMS w oczekiwaniu na wiązki: plany poszukiwania „Nowej Fizyki"

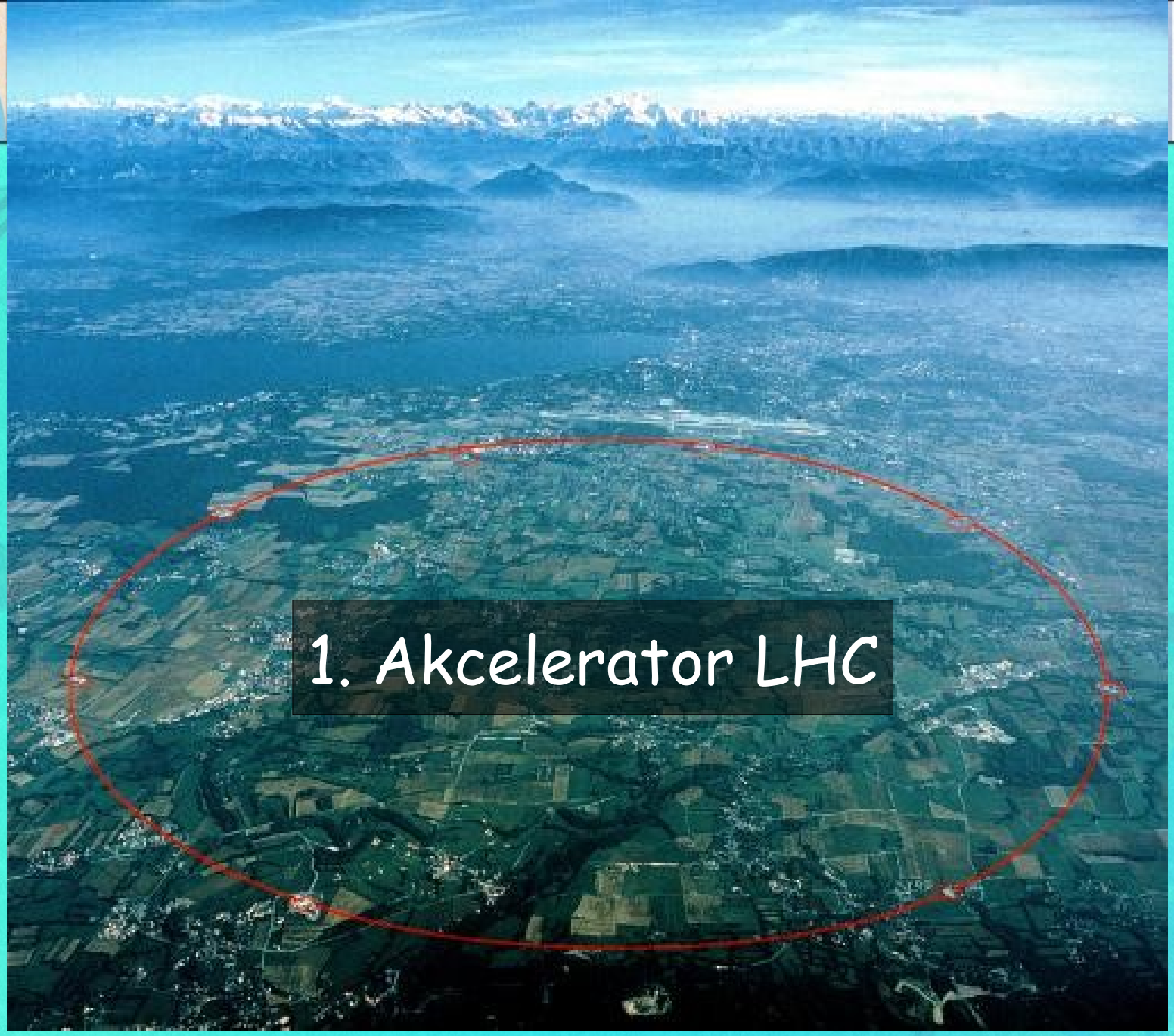
Część 1

Piotr Traczyk

Warszawa, 07.03.2008

Plan

- Akcelerator LHC
- Detektor CMS
- Nowa fizyka w CMS – organizacja pracy
- Wybrane analizy - szczegóły

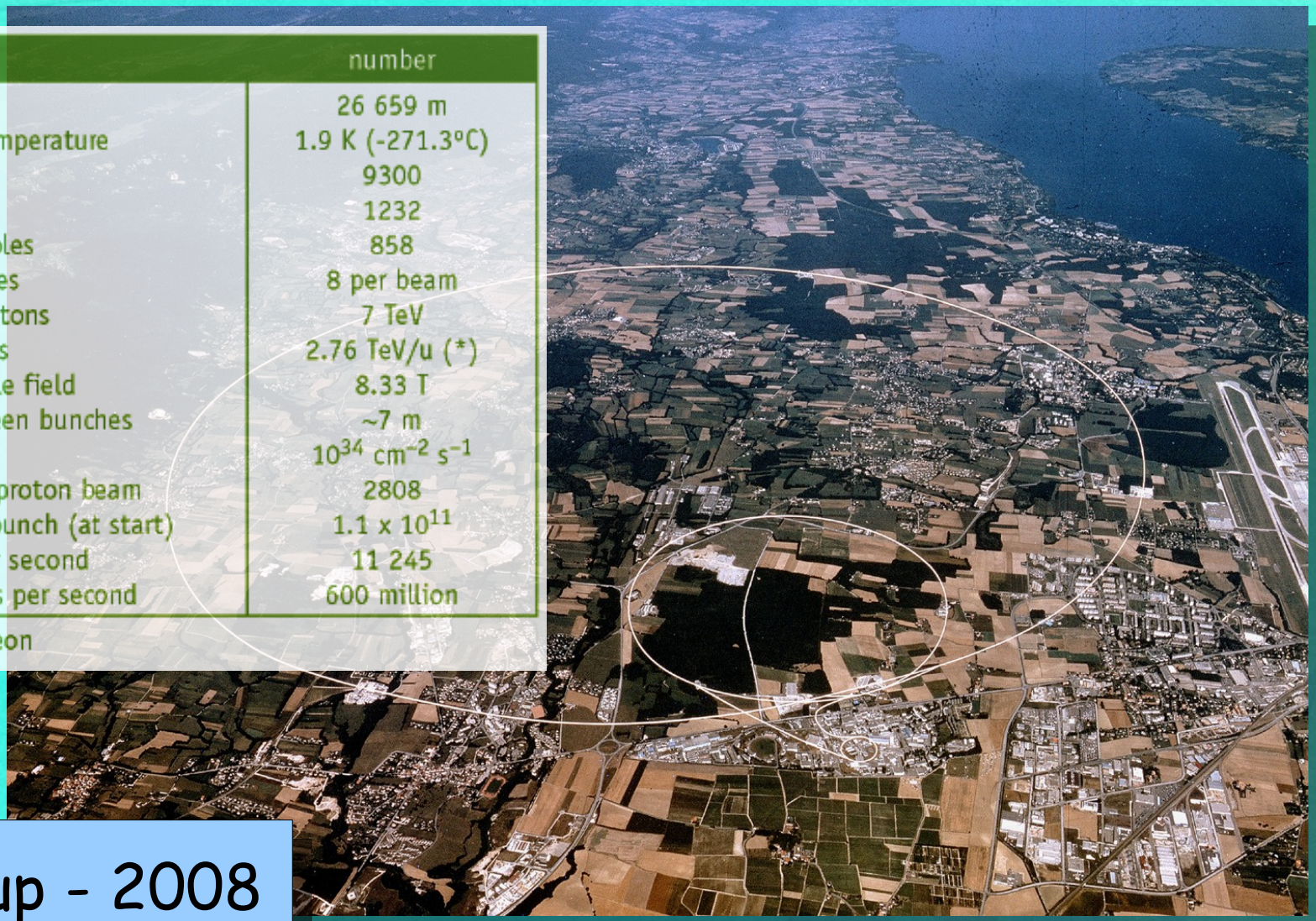


1. Akcelerator LHC

LHC – podstawowe parametry

Quantity	number
Circumference	26 659 m
Dipole operating temperature	1.9 K (-271.3°C)
Number of magnets	9300
Number of dipoles	1232
Number of quadrupoles	858
Number of RF cavities	8 per beam
Nominal energy, protons	7 TeV
Nominal energy, ions	2.76 TeV/u (*)
Peak magnetic dipole field	8.33 T
Min. distance between bunches	~7 m
Design luminosity	10^{34} cm^{-2} s^{-1}
No. of bunches per proton beam	2808
No. of protons per bunch (at start)	1.1×10^{11}
Number of turns per second	11 245
Number of collisions per second	600 million

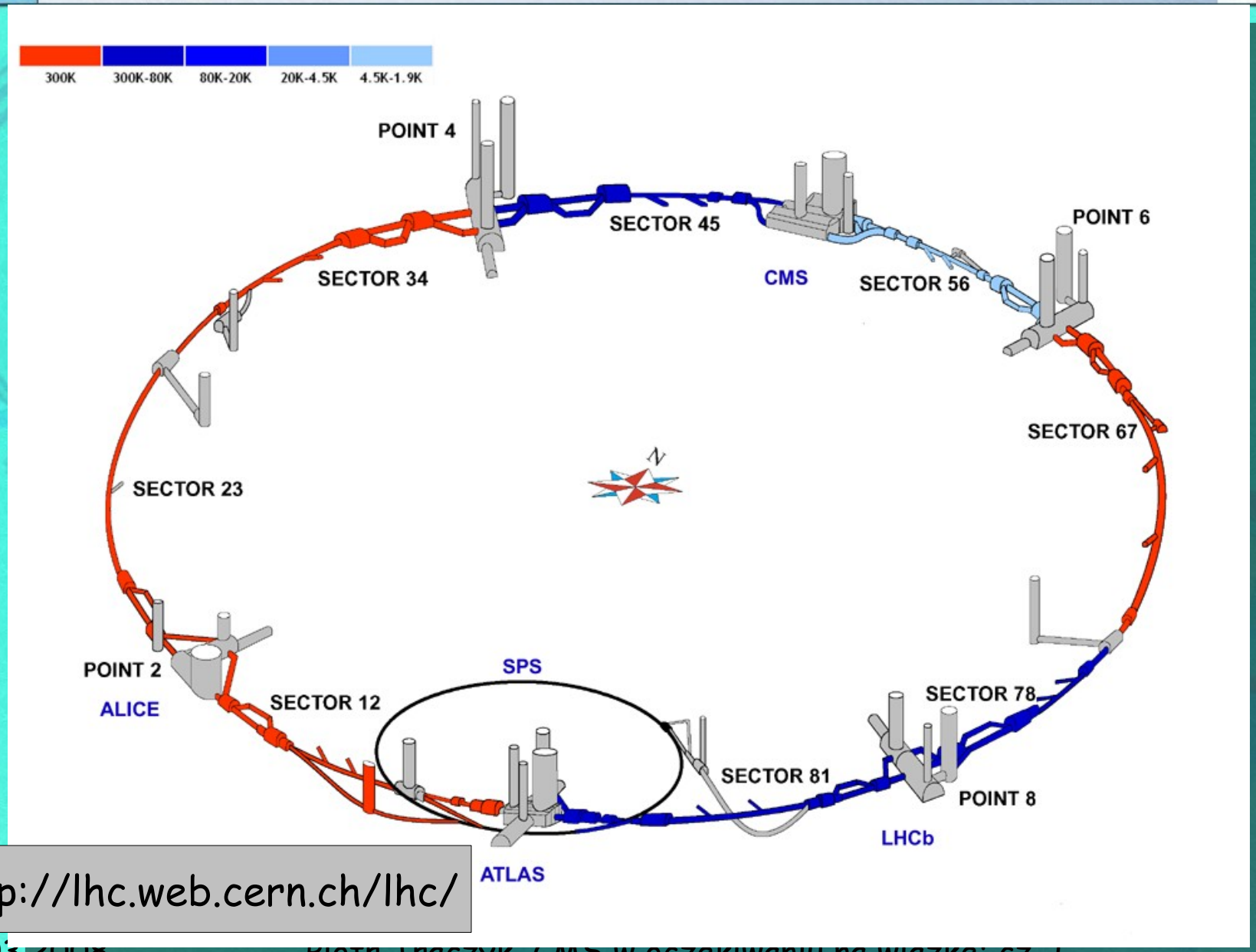
(*) Energy per nucleon



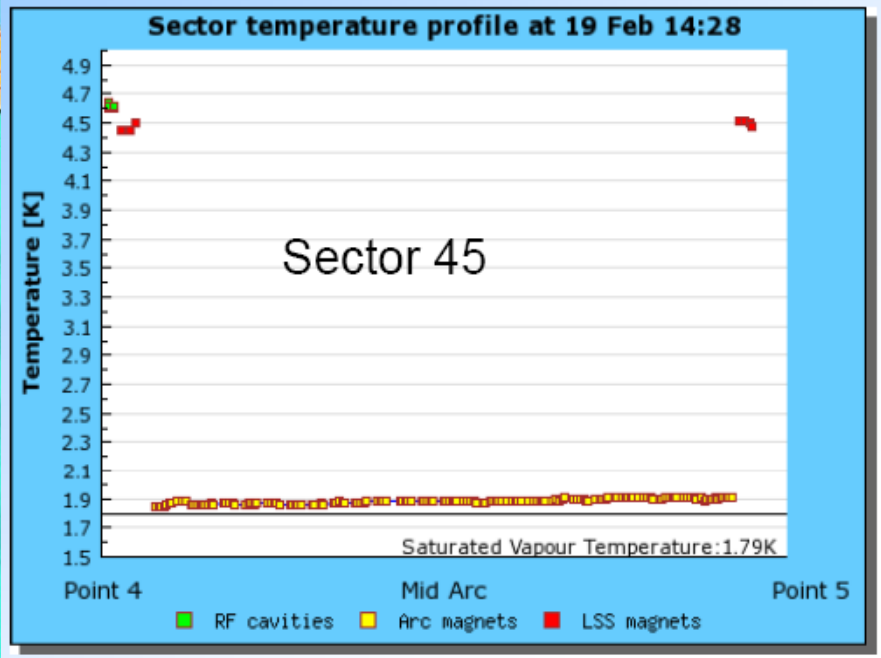
Startup - 2008

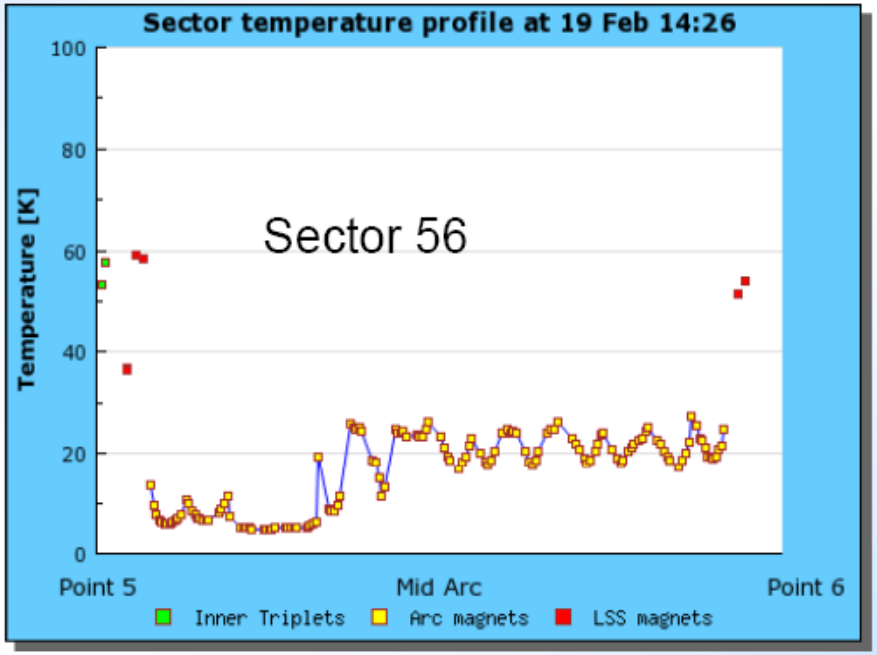
Widok z bliska...

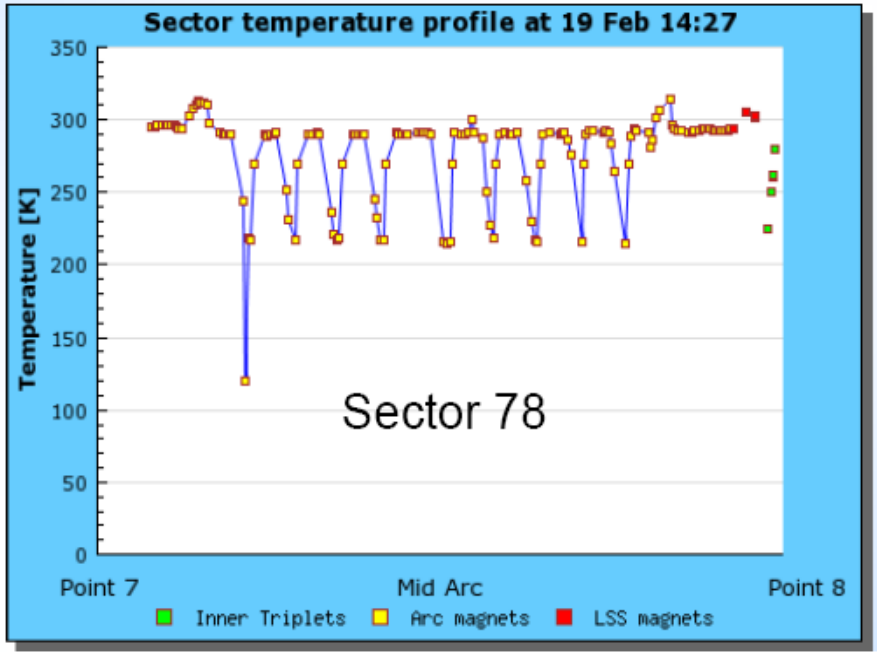
LHC – stan obecny

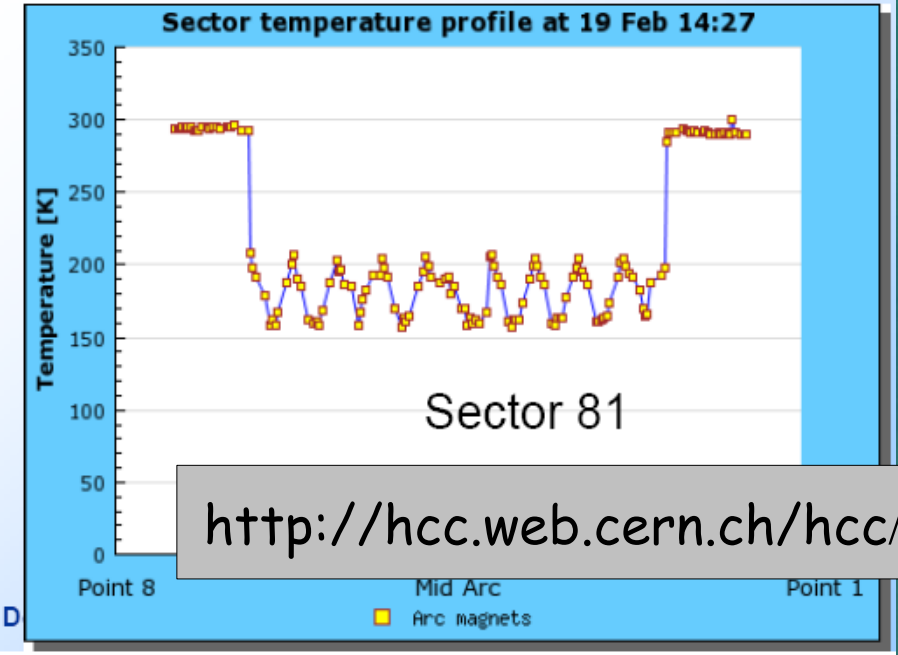


http://lhc.web.cern.ch/lhc/



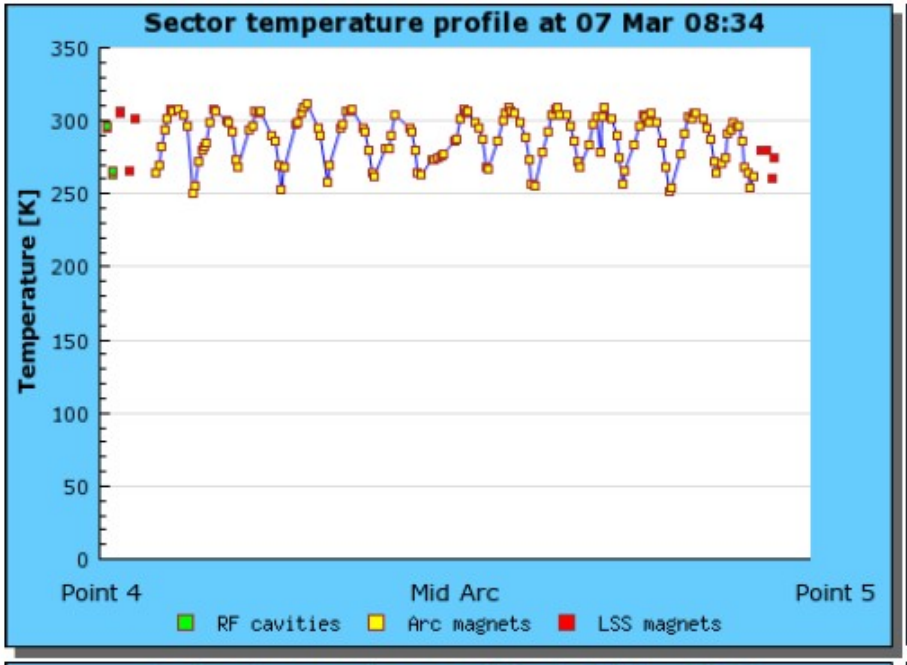




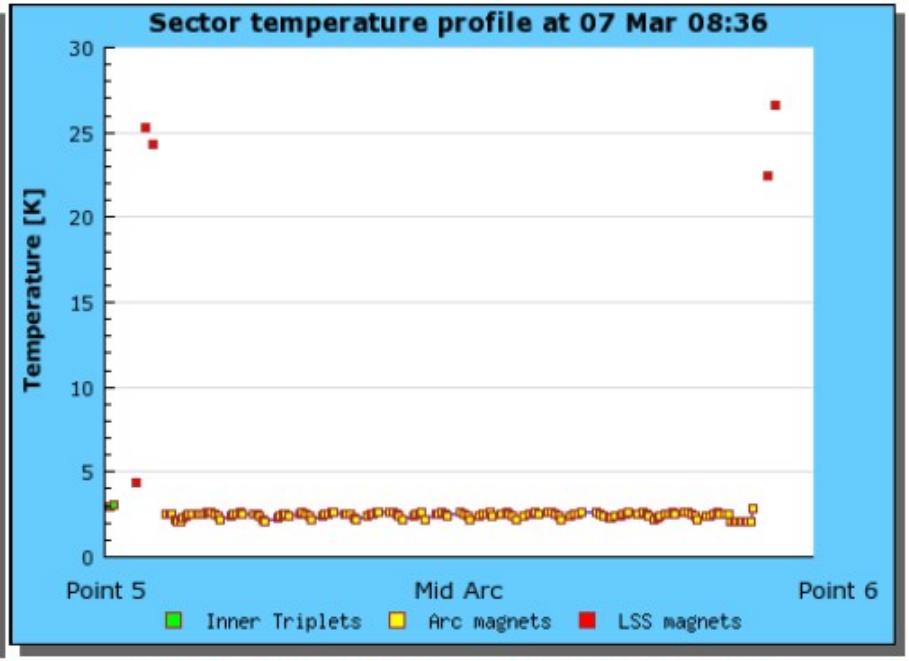


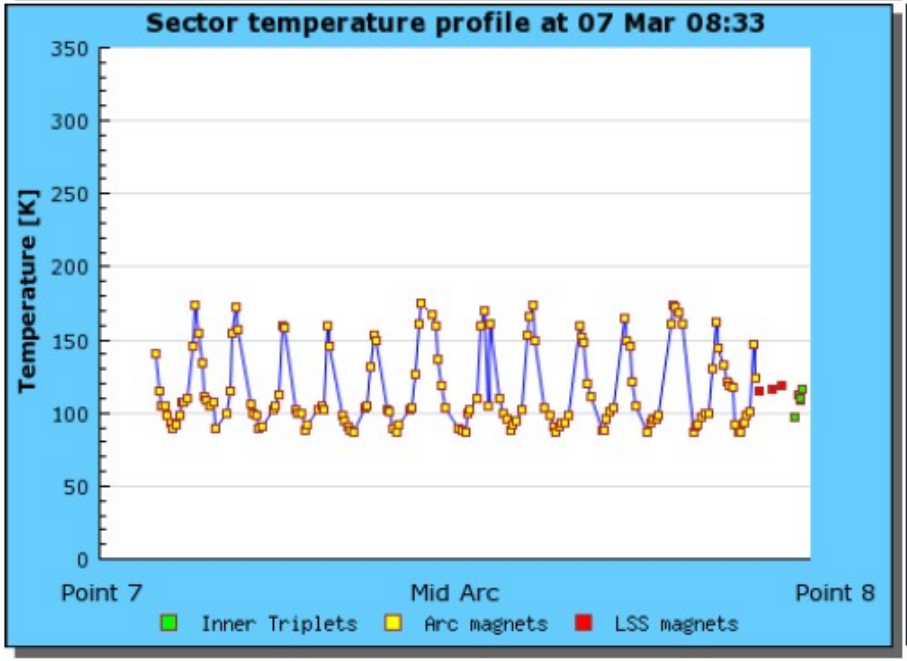
http://hcc.web.cern.ch/hcc/

Sector 4-5

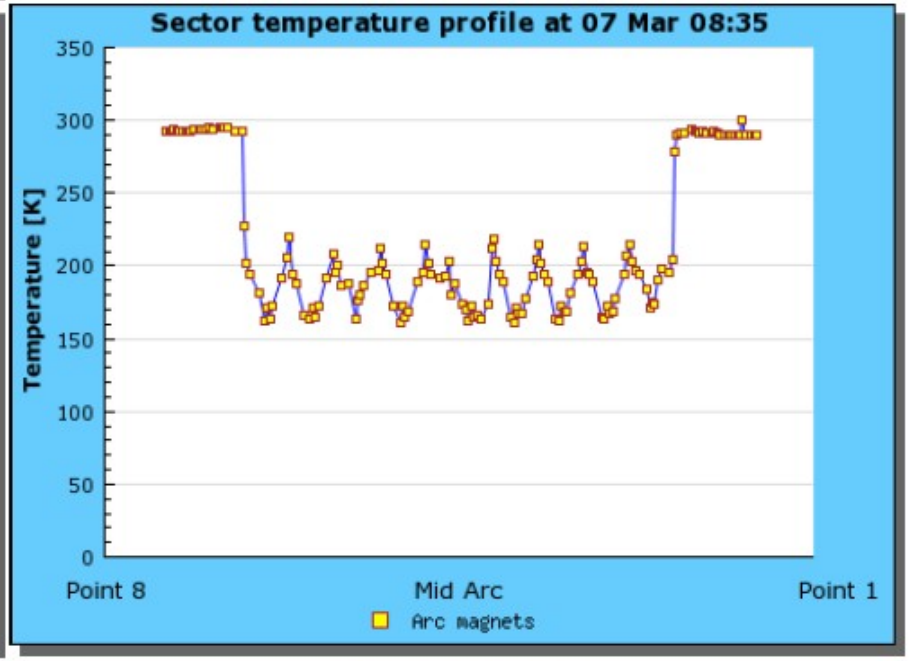


Sector 5-6





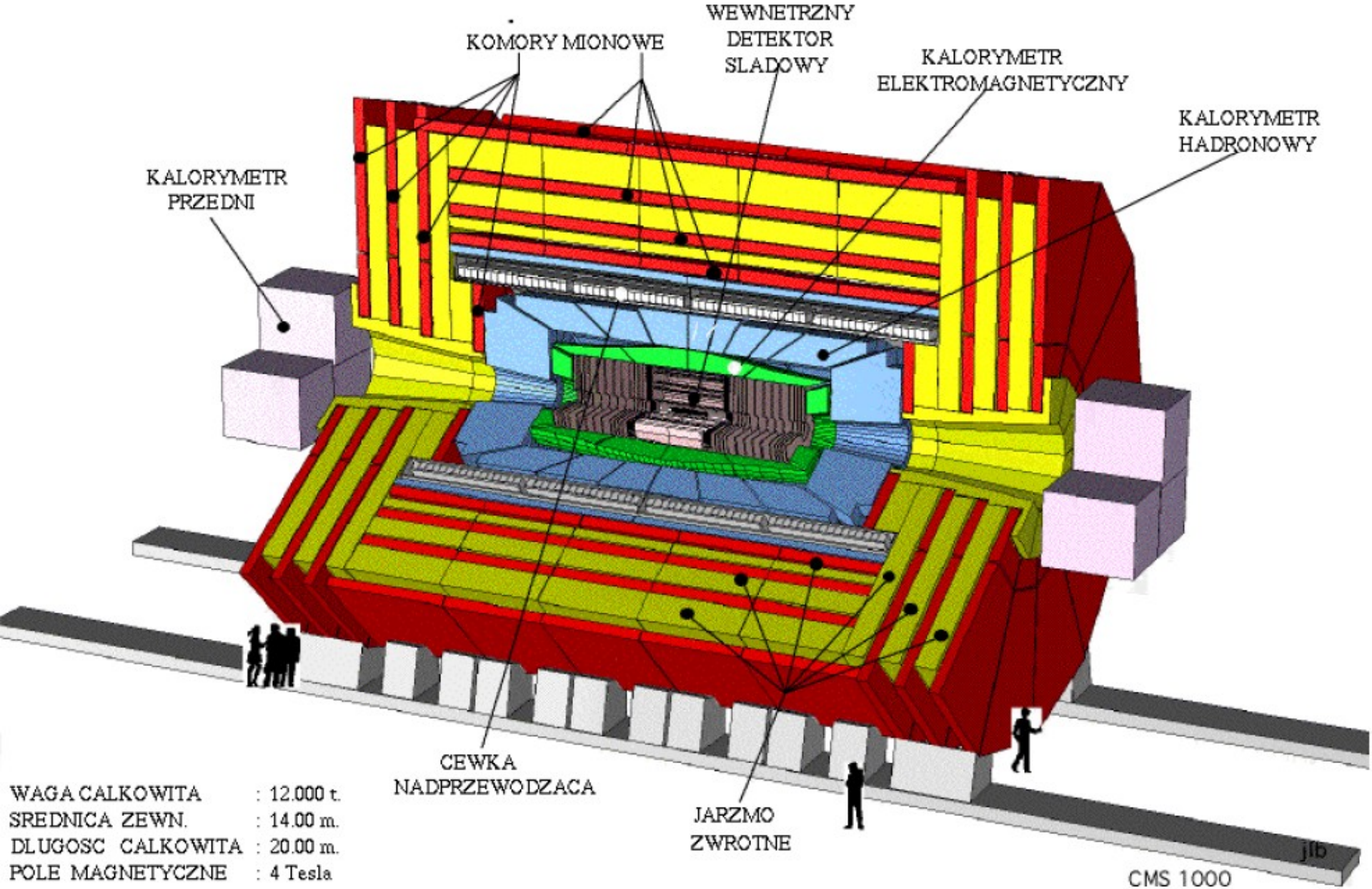
Sector 7-8



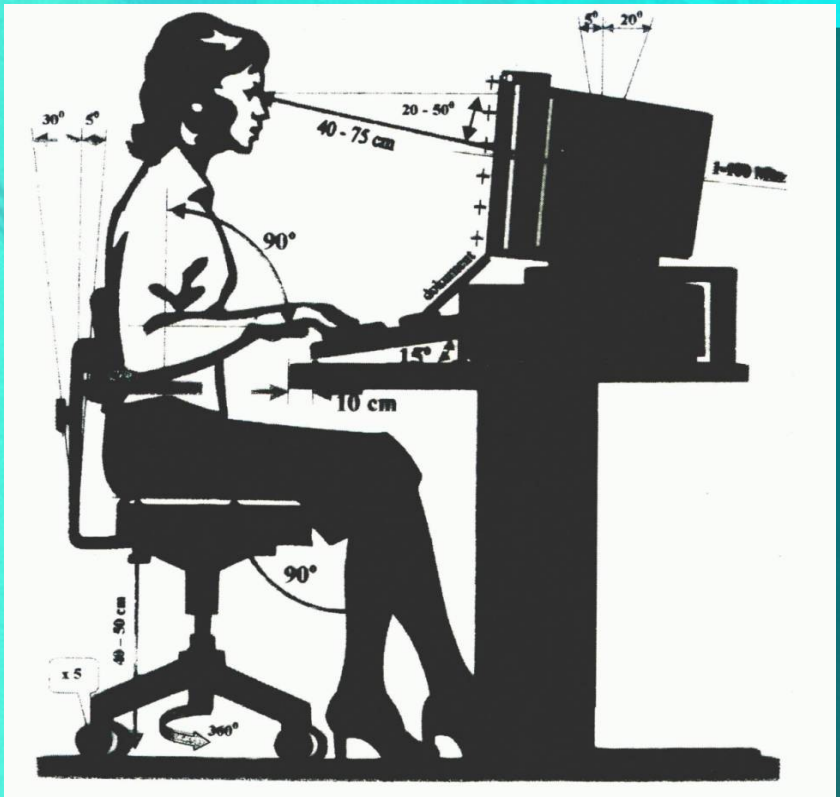
Sector 8-1

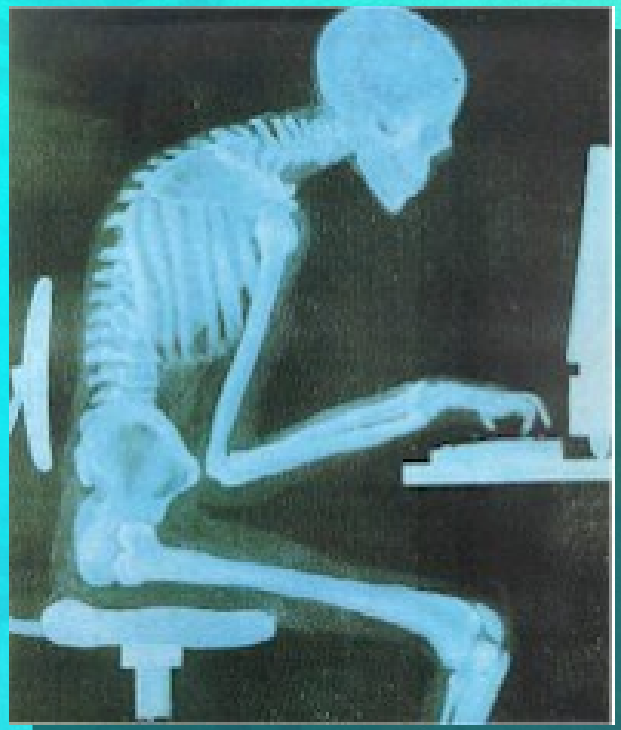
2. Eksperyment CMS

Schemat detektora CMS



3. Organizacja pracy





Szukanie „Nowej Fizyki" w CMS

- Dwie grupy zajmujące się fizyką „poza Modelem Standardowym" – SUSY i Exotica
- Podział tematyki wydaje się oczywisty, ale:
  - UED (Universal Extra Dimensions) – grupa SUSY
  - GMSB (Gauge Mediated Susy Breaking) – Exotica
  - Radion (z modelu Randall-Sundrum) – grupa Higgs
- Dwa rodzaje analiz prowadzonych w tych grupach:
  - Duże - ukierunkowane na wybraną sygnaturę
  - Małe – konkretny proces, konkretna teoria itp.

Analizy mniejsze

- GMSB (fotony) (13)
- RS G*->tt (3)
- W' -> e, mu, tau, WZ (13)
- Wzbudzone leptony (->lepton+foton) (3)
- Leptokwarki (3)
- Czarne dziury (8)
- Technicolor (1)
- Hidden valley (5)
- Z -> tau+mu (4)

Analizy większe

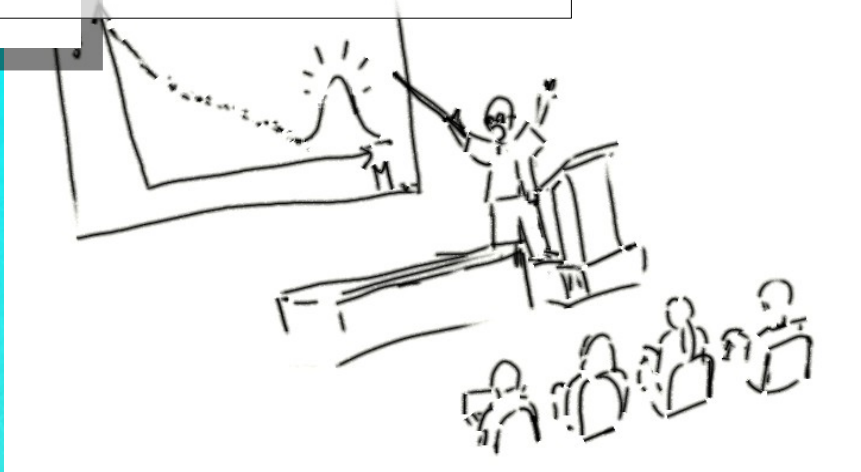
- Poszukiwanie nowej fizyki przy użyciu par dżetów
  (7 instytucji, 10 osób)
- Poszukiwanie ciężkich rezonansów rozpadających się na parę elektronów lub fotonów
  (12 instytucji, 40 osób)
- Poszukiwanie ciężkich rezonansów rozpadających się na parę mionów
  (9 instytucji, 25 osób)
- Poszukiwanie stabilnych ciężkich cząstek naładowanych
  (7 instytucji, 12 osób)

Analizy większe

Rok temu...

- Poszukiwanie nowej fizyki przy u
  (7 instytucji, 10 osób) **4 osoby, 3 insty**
- Poszukiwanie ciężkich rezonansó
  się na parę elektronów lub foton
  (12 instytucji, 40 osób) **7 osób, 4 instyt**
- Poszukiwanie ciężkich rezonansó
  się na parę mionów
  (9 instytucji, 25 osób) **12 osób, 3 insty**
- Poszukiwanie stabilnych ciężkich cząstek naładowanych
  (7 instytucji, 12 osób) **~4,5 osoby, 2 instytucje**

4. Wybrane analizy



The Compact Muon Solenoid Experiment

Analysis Note

The content of this note is intended for CMS internal use and distribution only

25 January 2008

Search for Heavy Stable Charged Particle with 100 pb^{-1} and 1 fb^{-1} at CMS experiment

A. Rizzi

ETH Zurich, Switzerland

T. Cox

University of California Davis, USA

G. Rakness, J. Hauser,

University of California Los Angeles, USA

G. Bruno, L. Quertenmont

Universite catholique de Louvain, Belgium

A. Bean, J. Chen

University of Kansas, USA

S. Cooper, Y. Kubota

University of Minnesota, USA

P. Traczyk, P. Zalewski

Warsaw, Poland

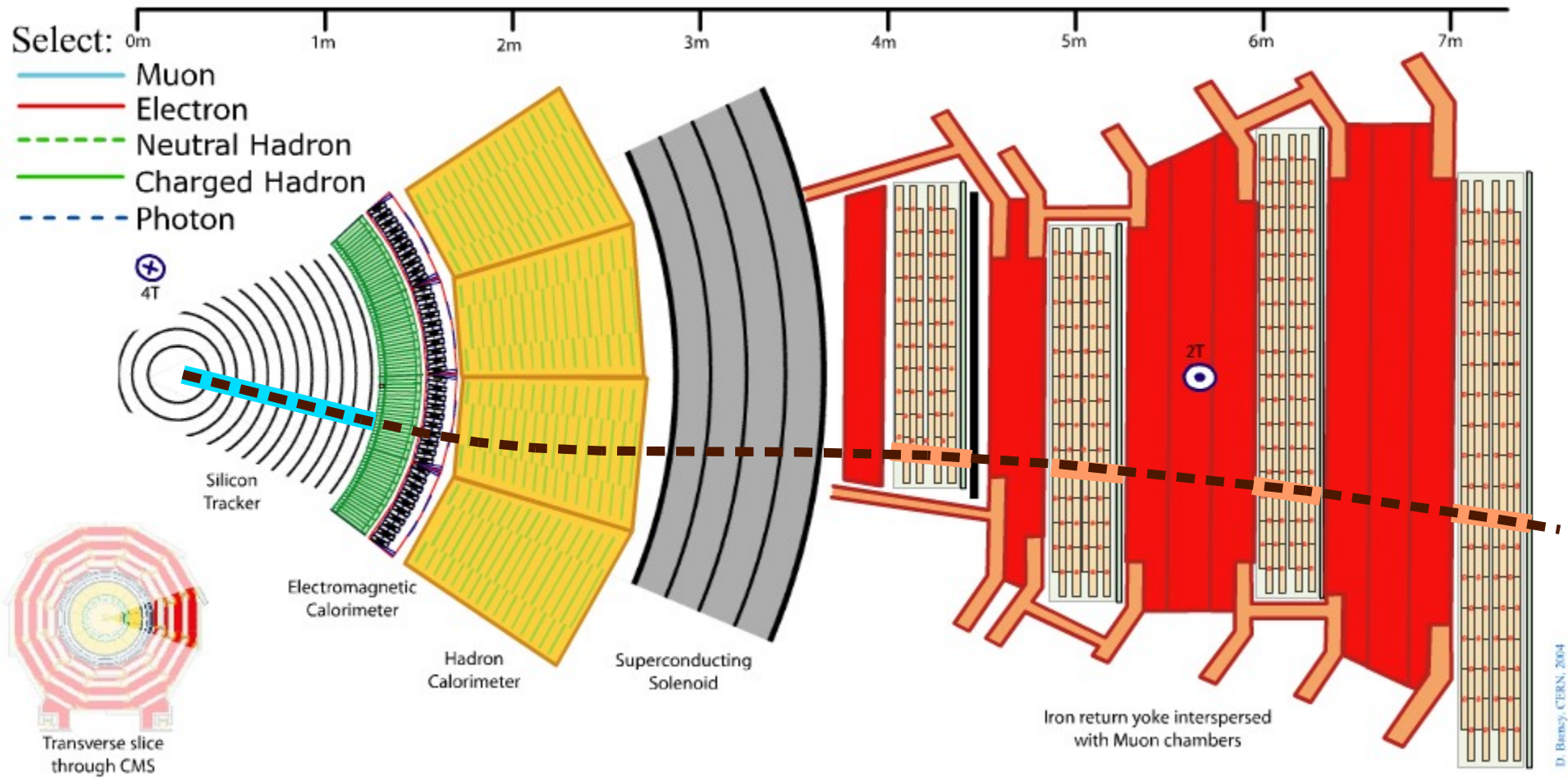
Teoria

- Analiza w założeniu niezależna od modelu
- Dwie klasy cząstek – oddziałujące silnie (hadron-like) lub nie (lepton-like)
- Analiza testowana na 4 konkretnych modelach:
  - GMSB (Gauge Mediated Susy Breaking), metastabilne NLSP stau
  - UED (Universal Extra Dimensions), stabilne τ_{KK}
  - Split-SUSY, stabilne gluino
  - MSSM, długożyciowy stop

Zasada detekcji

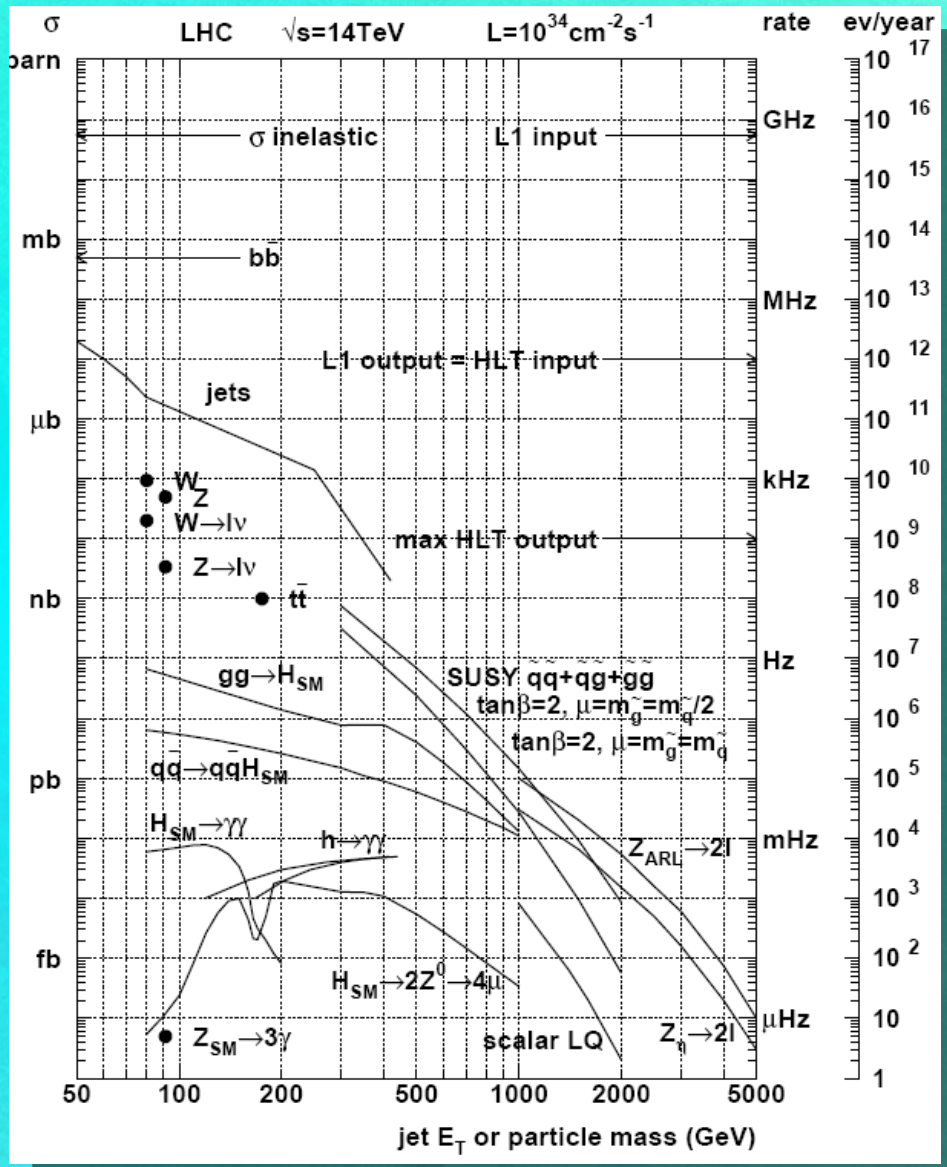
- Tory HSCP widoczne w wewnętrznym detektorze śladowym i w systemie mionowym
- Masywne cząstki → cząstki „powolne" (dla P>100 GeV - β<0,9)
- Dwie metody identyfikacji:
  - opóźnienie „mionów" w systemie mionowym (na podstawie czasu przelotu)
  - straty energii cząstek naładowanych (na podstawie jonizacji w detektorze śladowym)

Detekcja HSCP



System wyzwalania w CMS

- Dwustopniowy tryger:
  - Poziom 1 (L1) – hardware detektora
  - Wyższe poziomy (HLT) - programowalny, farma komputerów PC
- Redukcja z poziomu 40 MHz (zderzenia) do ~100 Hz (100 MB/s zapis na taśmę)



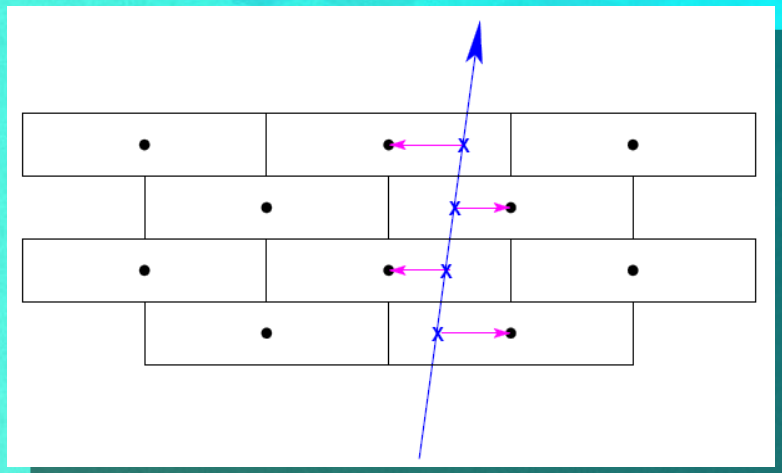
Wyzwalanie na HSCP

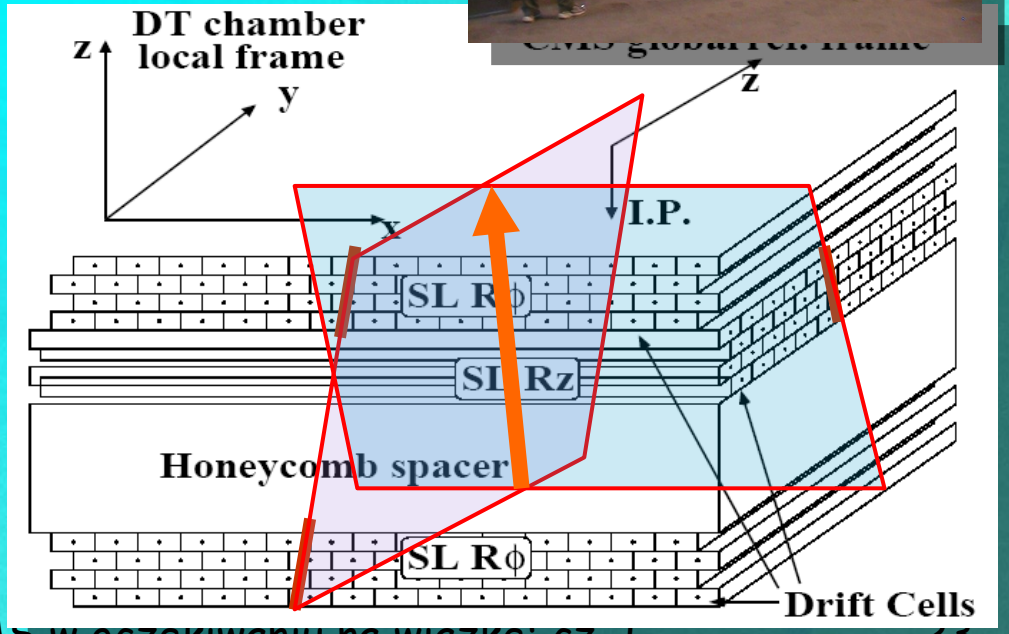
- Dwa typy trygera:
  - Brakująca energia w przypadku
    bierze się zazwyczaj z nierejestrowanych LSP, LKP itp. – sygnatura zależna od modelu
  - Tryger mionowy
    mniej zależny od modelu, HSCP sama wyzwala tryger (jeśli zrekonstruuje się jako mion)

    ale: potencjalne problemy z synchronizacją dla opóźnionych cząstek

Rekonstrukcja torów w komorach DT

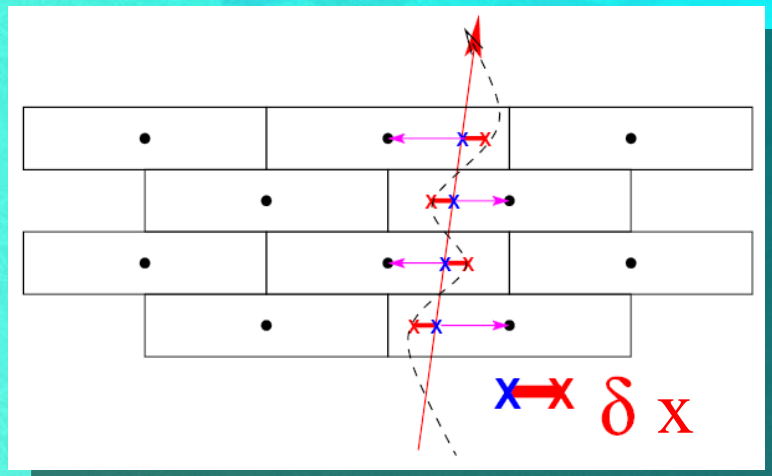
- Jedyny poddetektor w CMS mierzący <u>czas</u> (a nie położenie)
- Zamiana czasu dryfu na odległość od drutu (2 hipotezy - L/R)
- Przy założeniu poprawnej synchronizacji





Pomiar czasu przelotu w CMS

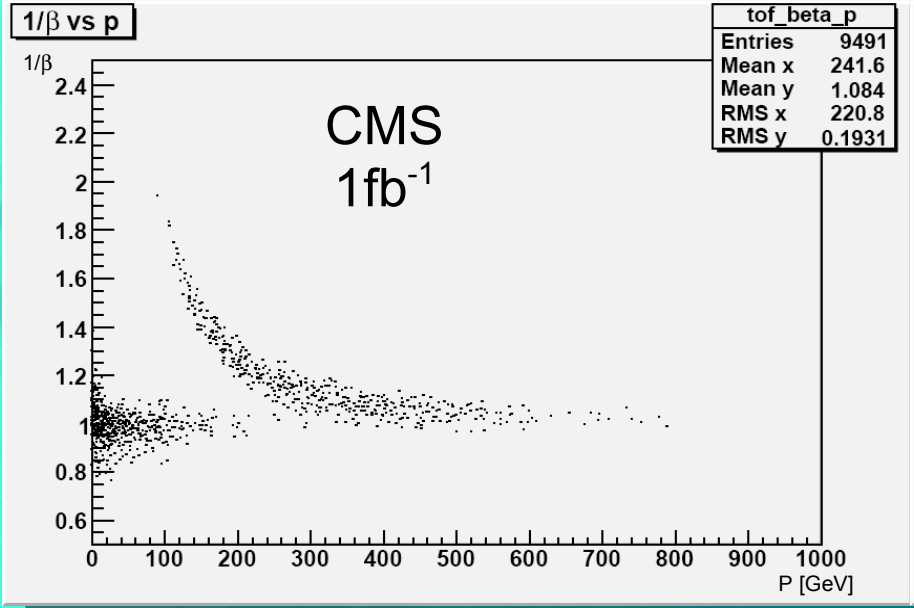
- Pomysł – P. Zalewski, M. Kazana – praca magisterska M.K. z 1997 r.
- Charakterystyczny układ punktów na torze w przypadku braku synchronizacji
- Możliwość pomiaru opóźnienia rejestrowanej cząstki
- Wyznaczenie masy HSCP

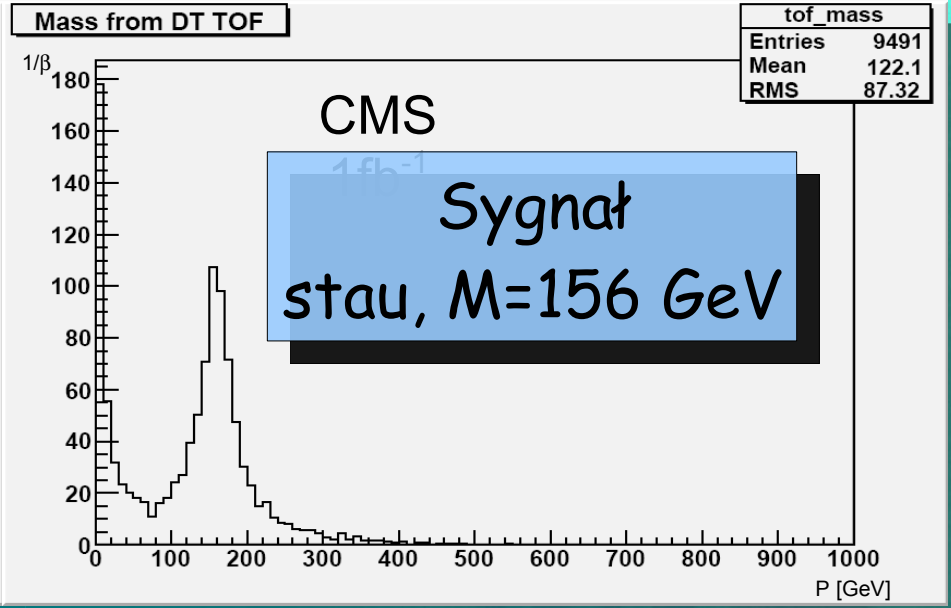


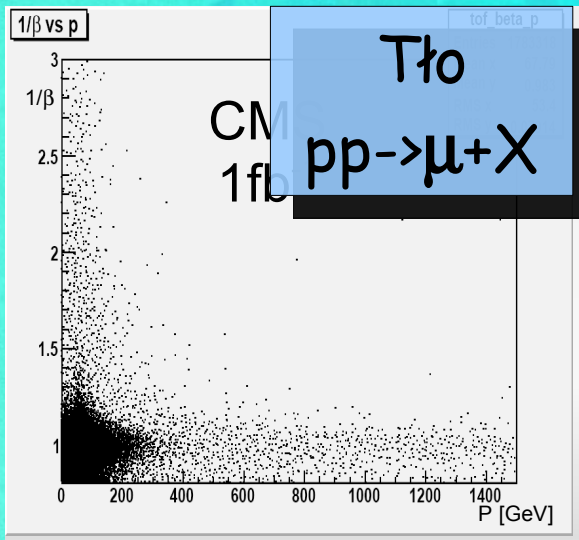
$$\frac{1}{\beta} = 1 + \frac{\delta_x}{L}\frac{c}{v_{\mathrm{drift}}}$$

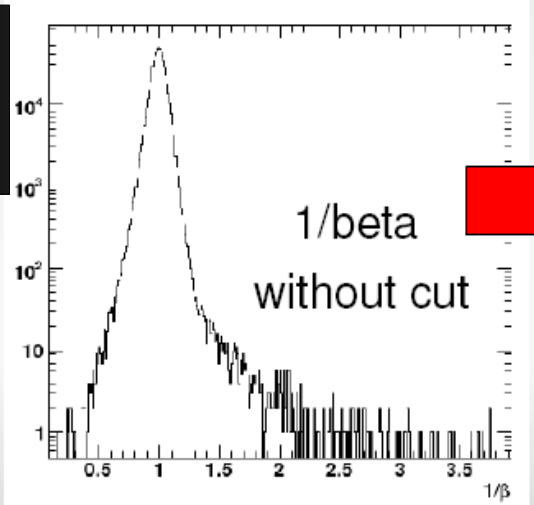
$$m^2 = p^2 \cdot \left(\frac{1}{\beta^2} - 1\right)$$

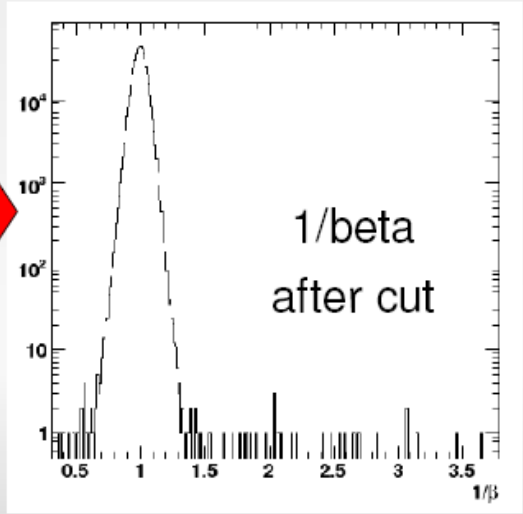
Sygnał i tło w komorach DT









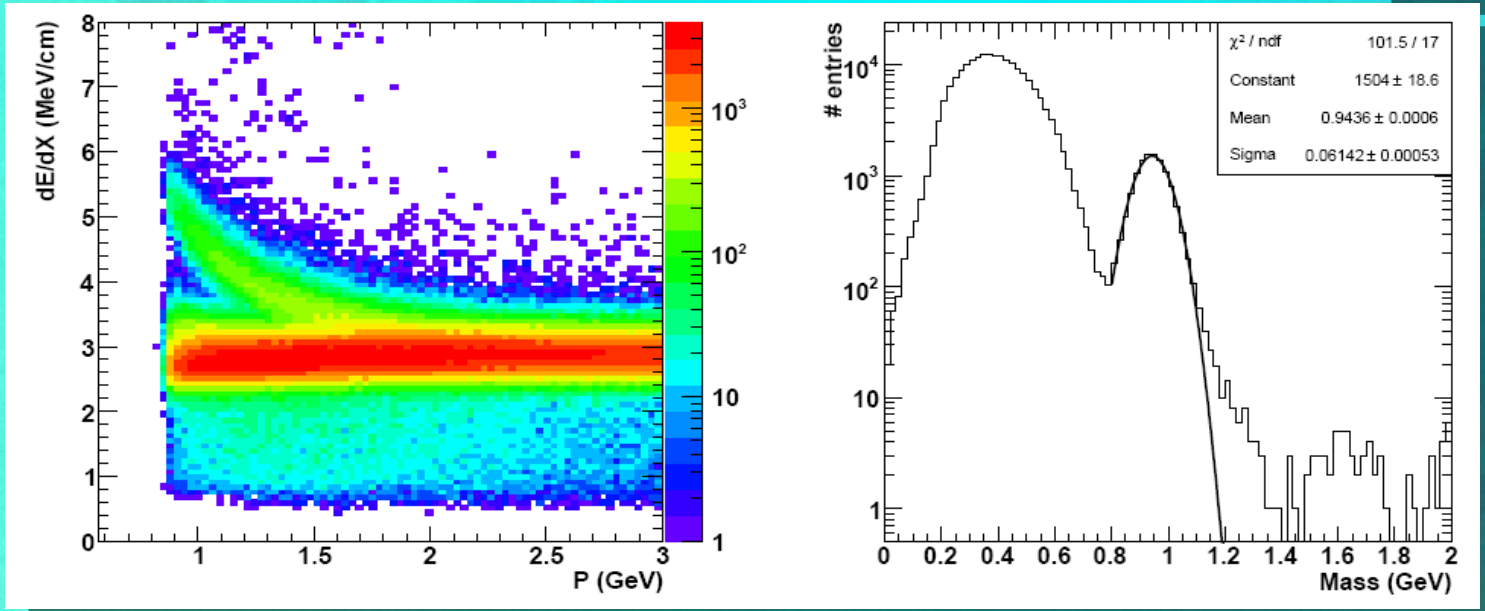


Pomiar dE/dx w trackerze

- Krzemowy detektor śladowy mierzy położenie i natężenie sygnału
- Natężenie proporcjonalne do straty energii cząstki naładowanej przechodzącej przez detektor
- Umożliwia pomiar prędkości cząstki
- Współczynnik K wyznaczany z danych

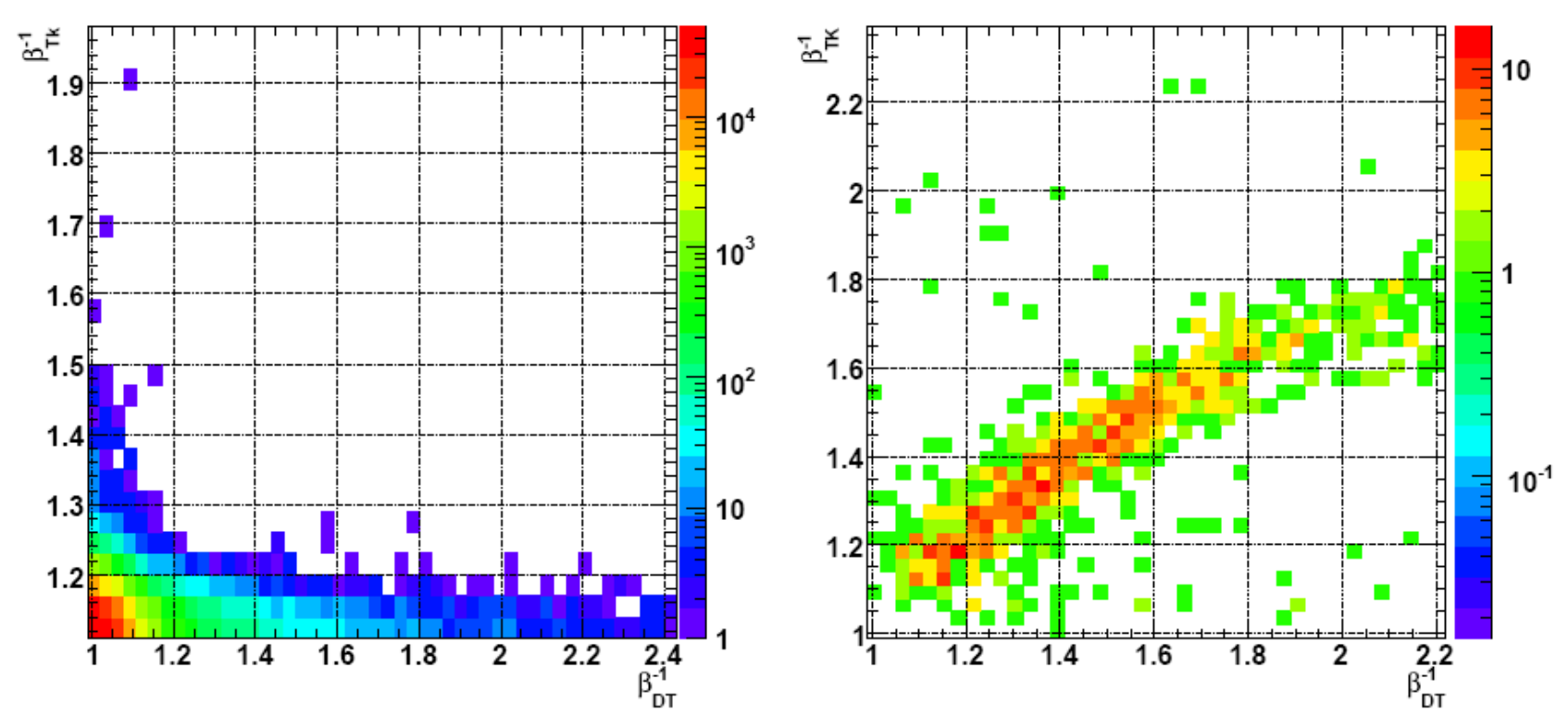
$$\beta^{-1} = \sqrt{K \frac{dE}{dX}}$$

(β<0,85)



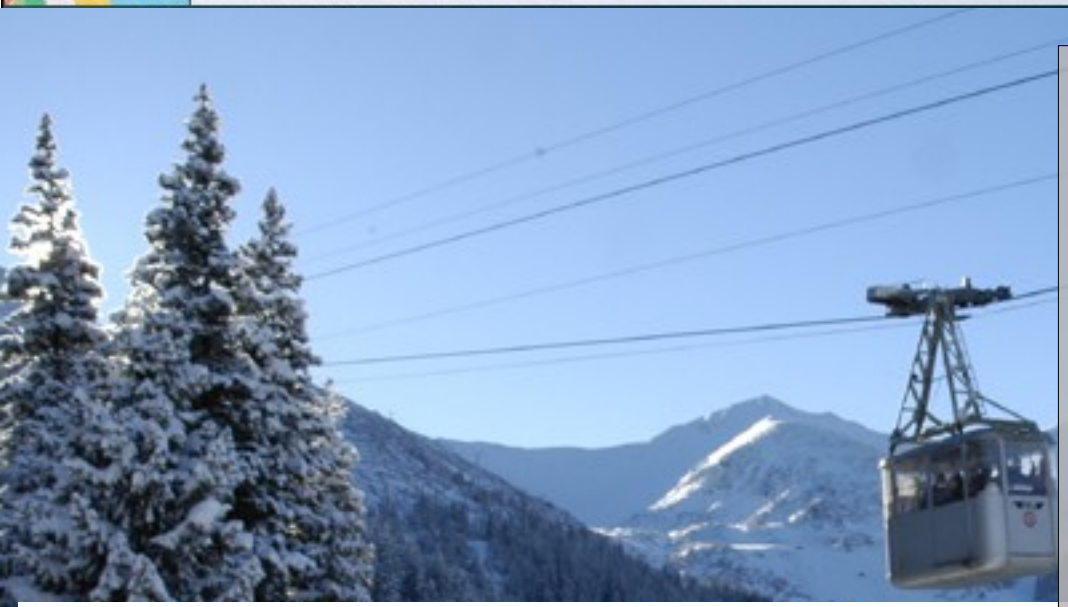
Wyniki

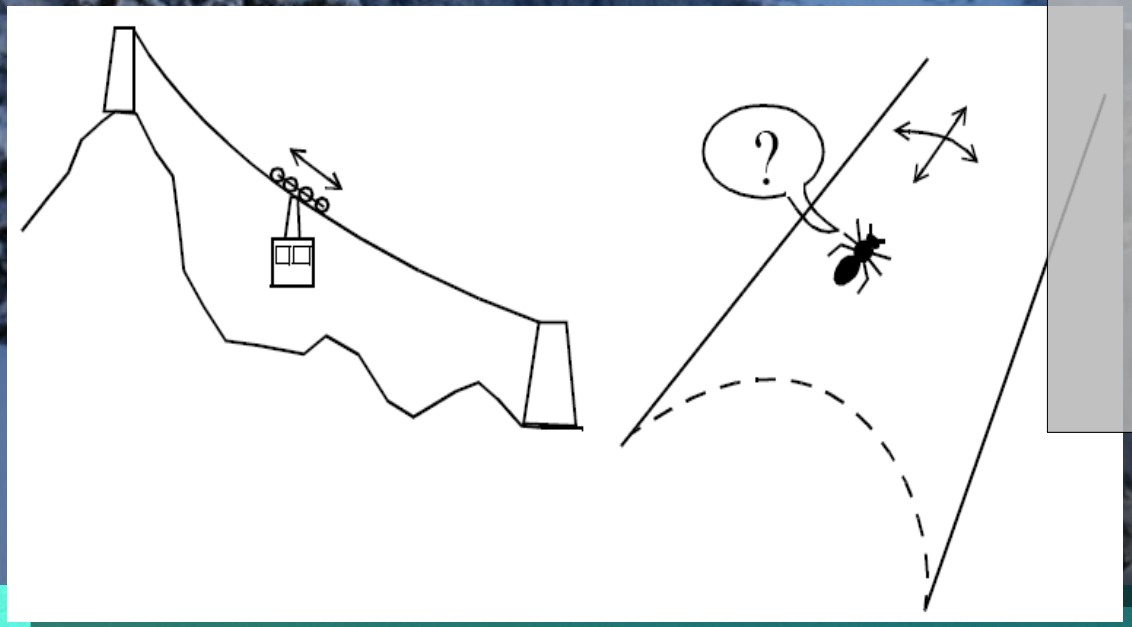
- Dwie niezależne metody pomiaru 1/β
- Korelacja dla sygnału, brak korelacji dla tła
- Możliwość wyznaczenia obszaru „bez tła”



Interludium

Dodatkowe wymiary przestrzenne

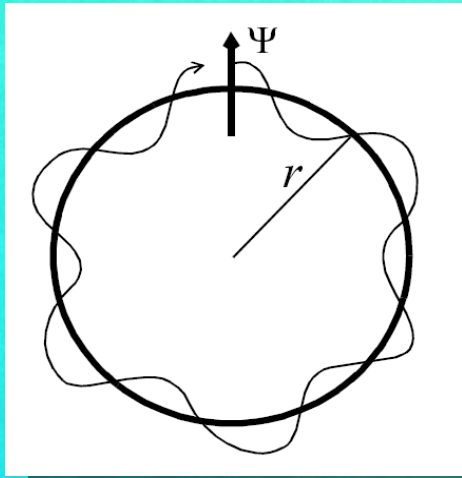




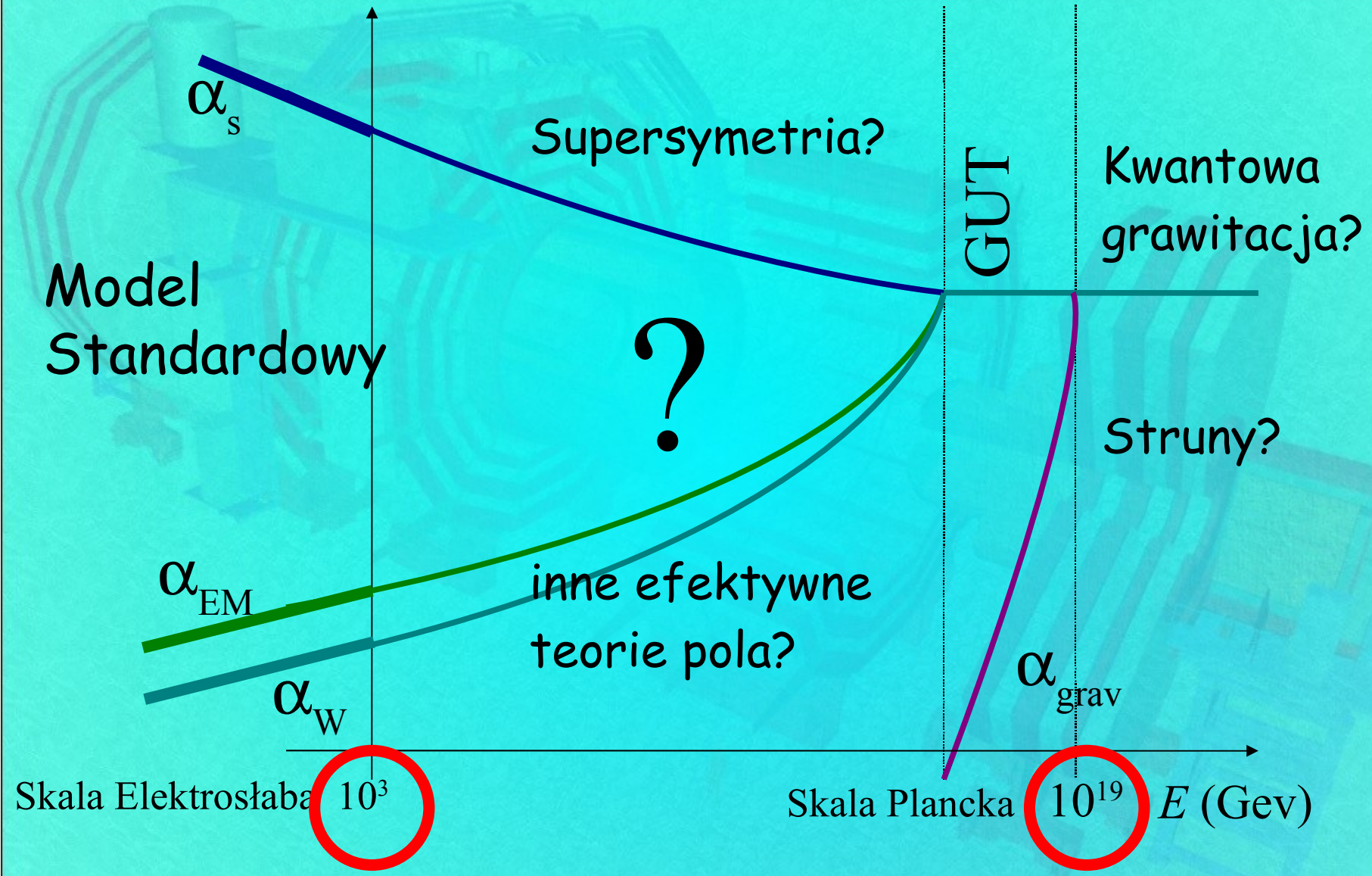
- Lina z punktu widzenia wagonika jest jednowymiarowa.
- Z punktu widzenia np. Mrówki wymiary są dwa.
- Kompaktyfikacja: ukrycie nowego wymiaru poprzez "zwinięcie" go w okrąg o bardzo małym promieniu (np. $r_c \sim 10^{-33}$ cm)

Cząstki w wyższych wymiarach

- Pojawia się warunek periodyczności funkcji falowej dla cząstek w dodatkowym wymiarze
- Powstała w ten sposób drabina stanów odpowiada (z punktu widzenia 4-wymiarowej przestrzeni) stanom o różnych masach (w odstępach co $1/r_c$)



Problem hierarchii

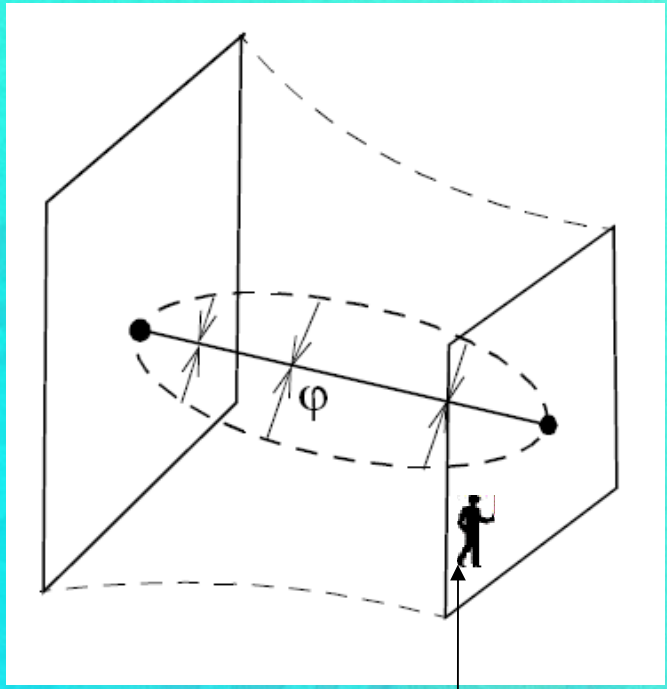


Współczesne teorie z wyższymi wymiarami

- 1926: teoria Kaluzy-Kleina
- 1970: teoria strun
- 1998: nowa fala – modele ADD, RS, UED, ...
  - ADD (Arkani-Hamed, Dimopoulos, Dvali): modyfikacja grawitacji na bardzo małych odległościach
  - RS (Randall-Sundrum): jeden, „zakrzywiony" nowy wymiar, nowe ciężkie cząstki w LHC
  - UED (Universal Extra Dimensions): wszystkie cząstki mają wzbudzenia KK, doświadczalnie podobny do supersymetrii

Model Randall-Sundrum

- Jeden dodatkowy wymiar φ o promieniu r, widziany tylko przez grawitację
- Nasz wszechświat na jednej z dwóch "3-bran"
- Metryka:
  $ds^2=e^{-2kr|\phi|}\eta_{\mu\nu}dx^{\mu}dx^{\nu}+r^2d\phi^2$ $(k \sim M_{Pl})$
- Wzbudzenia grawitonów o masach rzędu TeV i sprzężeniach $\sim 1/\Lambda_{\pi}$, gdzie $\Lambda_{\pi}=M_{Pl}e^{-kr\pi} \sim$TeV – <u>można szukać w LHC!</u>



Tu jesteś.

The Compact Muon Solenoid Experiment

Analysis Note

The content of this note is intended for CMS internal use and distribution only

13 February 2008

Search for New High-Mass Resonances Decaying to Muon Pairs in the CMS Experiment

Mingshui Chen, Chunhua Jiang

Institute of High Energy Physics, Beijing, China

Jacopo Bernardini, Francesco Fiori, Giovanni Petrucciani, Paolo Spagnolo

University of Pisa and INFN, Pisa, Italy

Piotr Traczyk

Soltan Institute for Nuclear Studies, Warsaw, Poland

Igor Altsybeev, Ivan Belotelov, Igor Golutvin, Alexander Lanyov, Sergei Shmatov

Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia

Maria Cepeda, Begona de la Cruz

CIEMAT, Madrid, Spain

Robert Cousins, Jordan Tucker, Viatcheslav Valuev

University of California, Los Angeles, California, USA

Dimitri Bourilkov, Ivan Furic, T. Nicholas Kypreos

University of Florida, Gainesville, Florida, USA

Adam Everett, Chang Liu, Norbert Neumeister

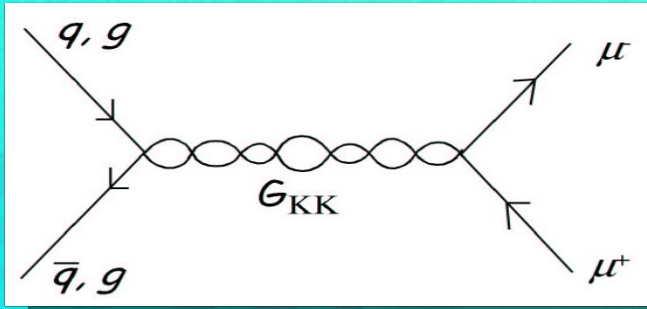
Purdue University, West Lafayette, Indiana, USA

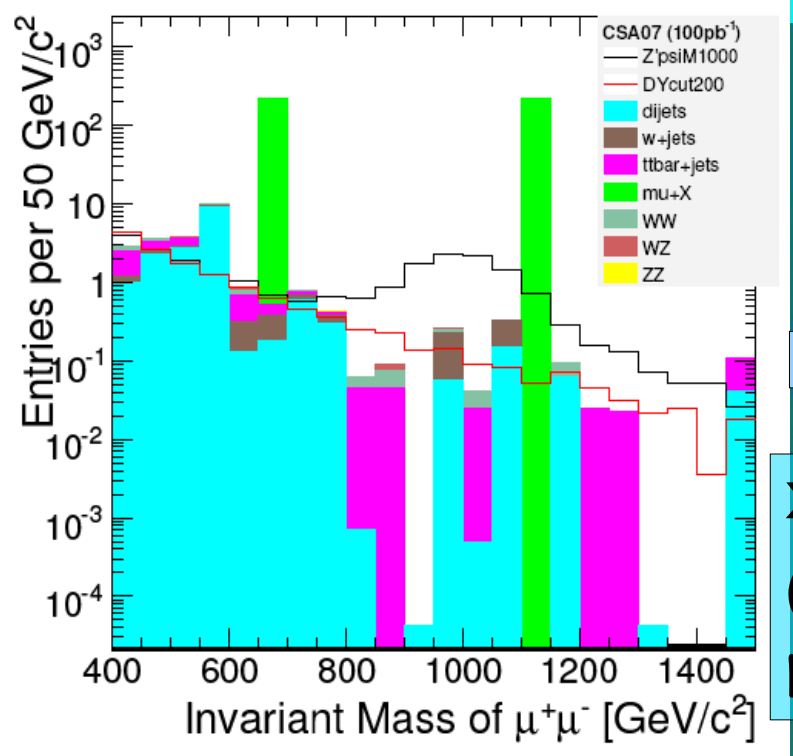
Jim Pivarski, Alexei Safonov

Texas A&M University, College Station, Texas, USA

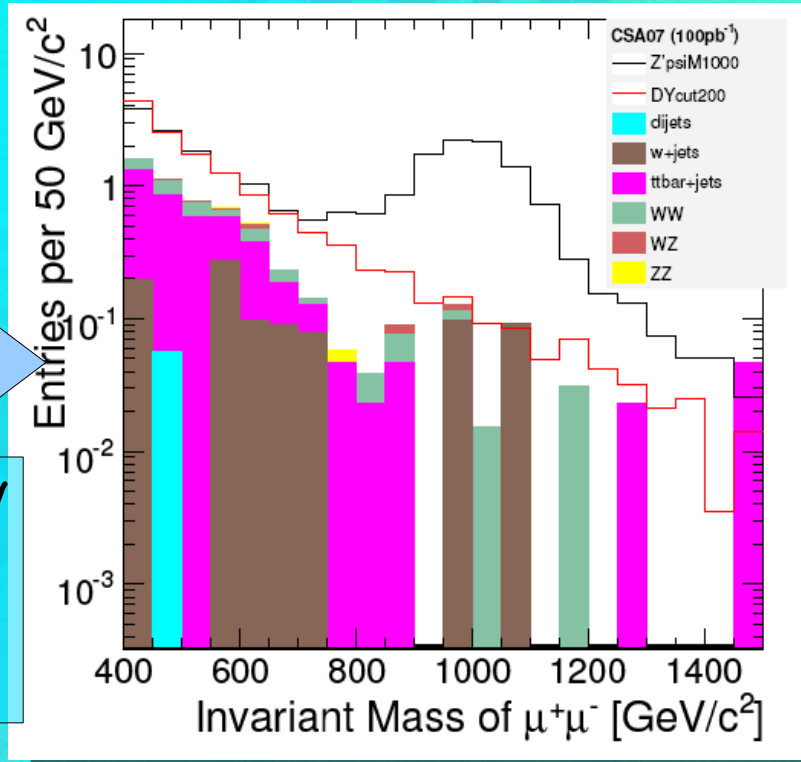
Sygnał i tło

- Poszukiwanie ciężkich (masa rzędu TeV) rezonansów Z'/G*->μμ
- Tło: głównie proces Drell-Yan pp->Z^0/γ->μμ



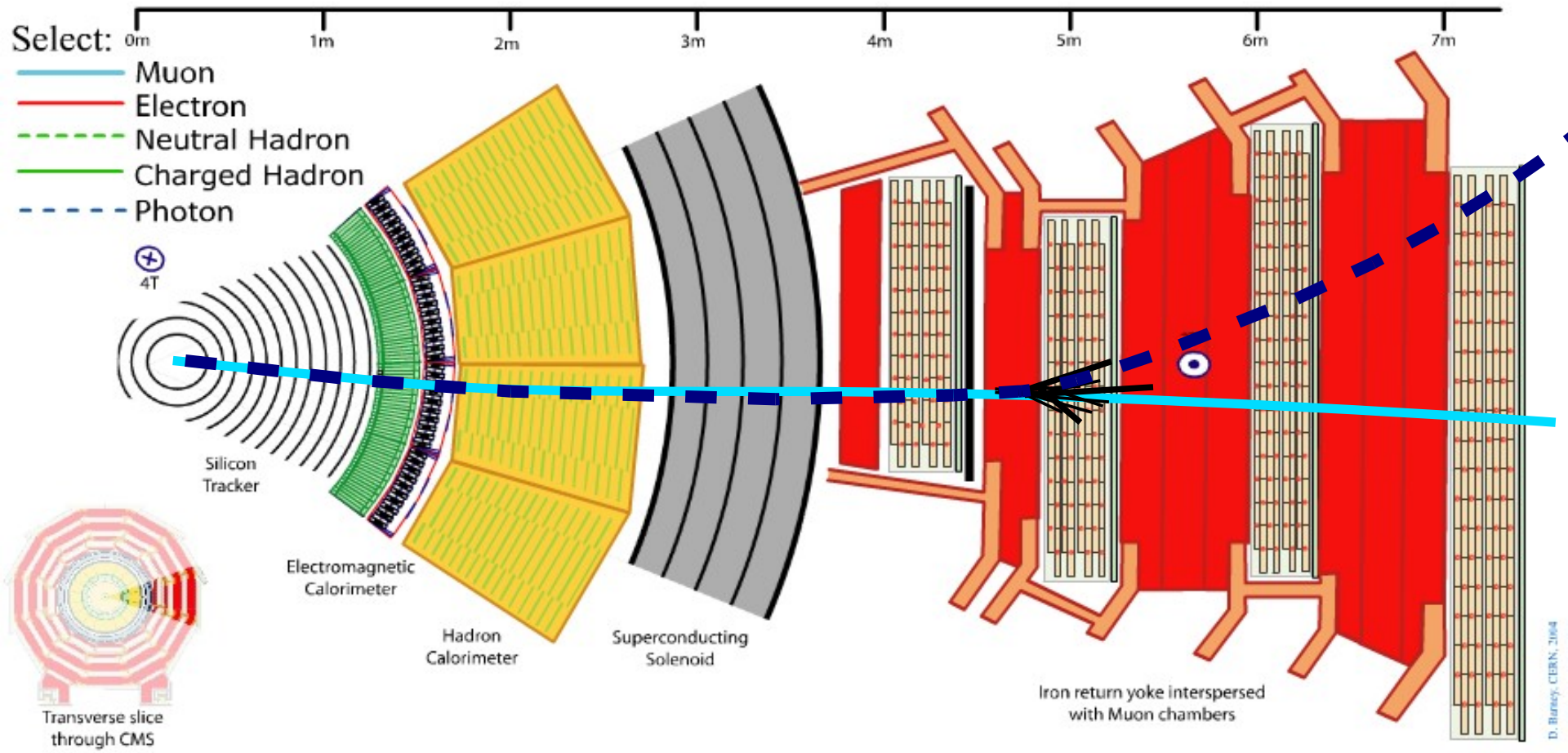


Σp_t<10 GeV
(ΔR<0,3)
p_t>20 GeV



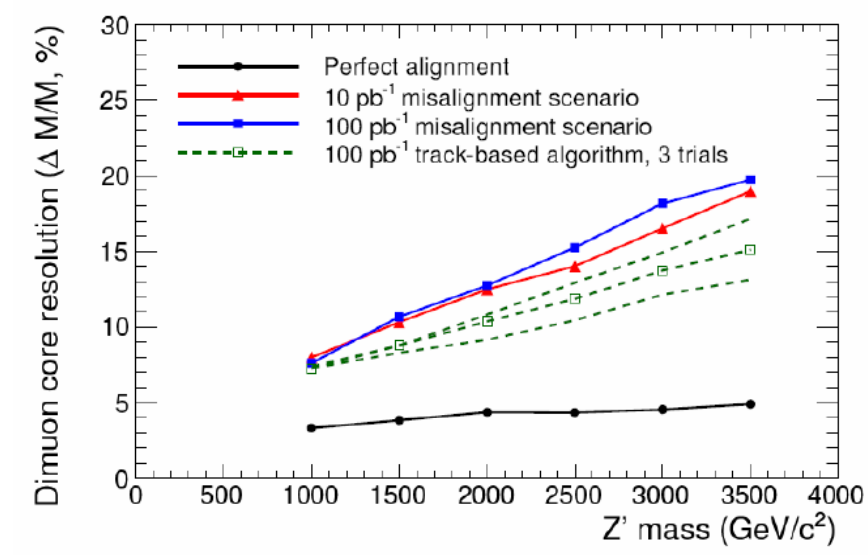
Miony o pędach rzędu TeV

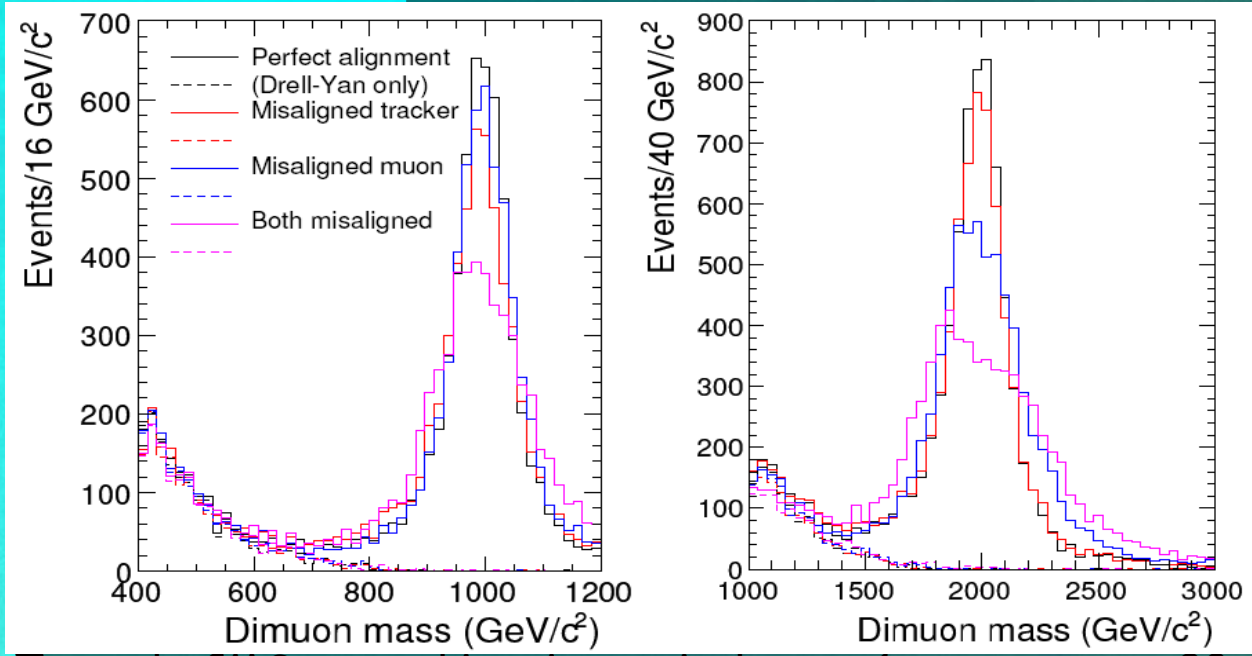
Pomiar pędu: system mionowy + detektor śladowy



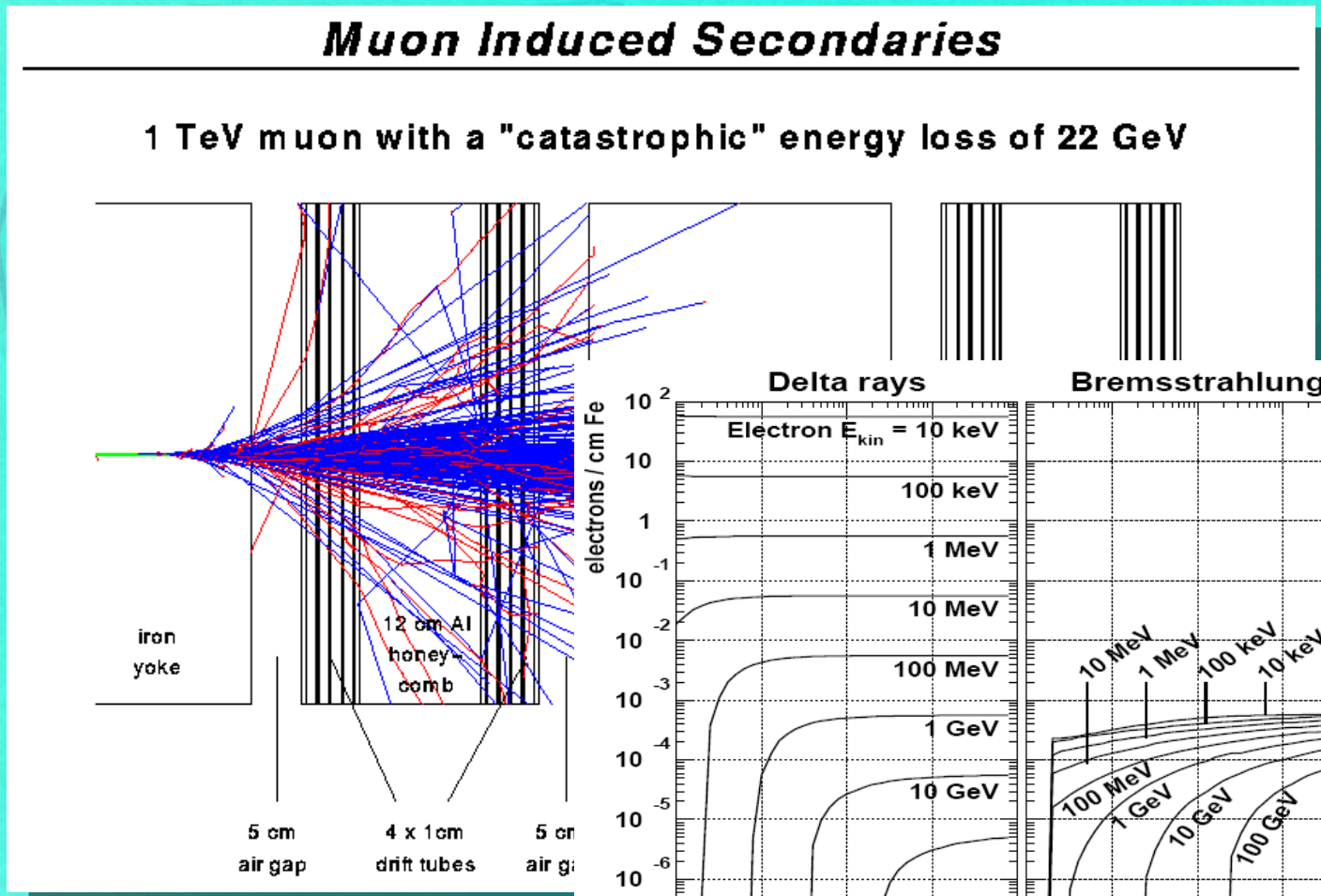
„Kalibracja przestrzenna" (Alignment)

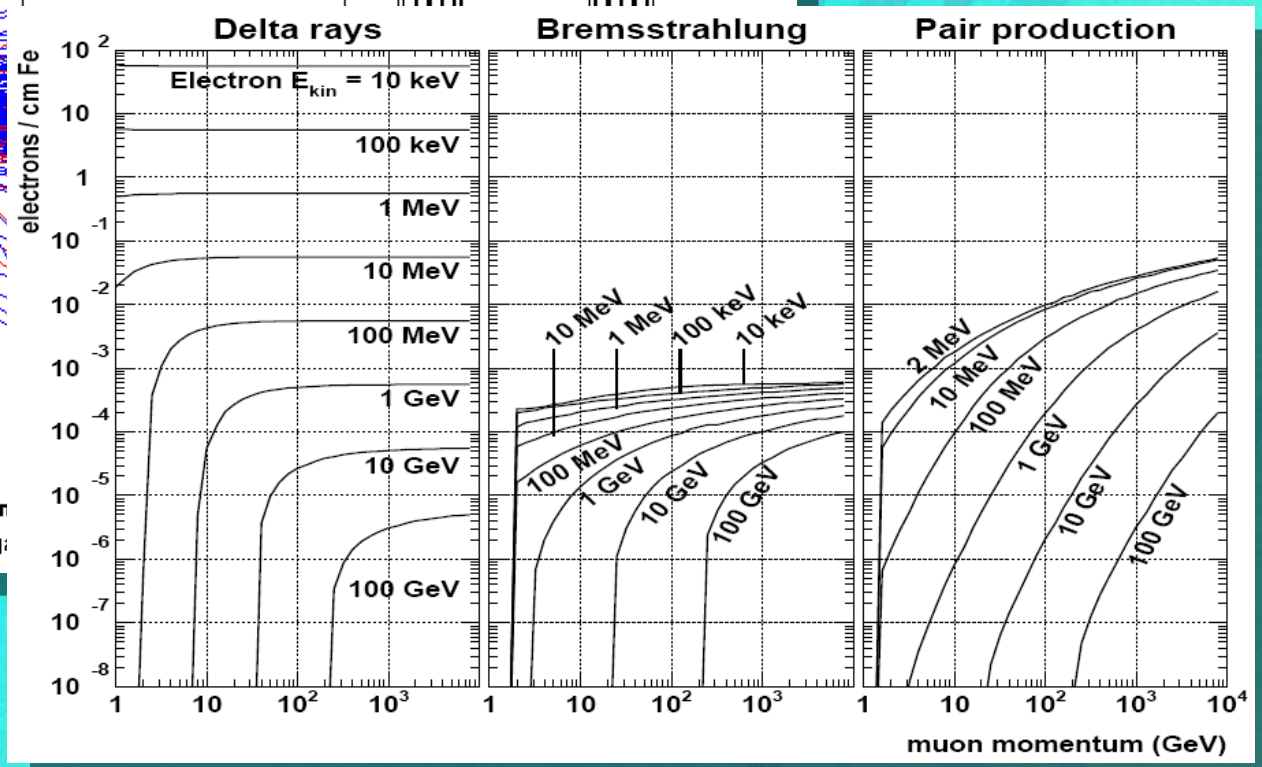
- Wraz ze wzrostem pędu mionu wzrasta znaczenie precyzyjnej kalibracji przestrzennej detektora
- Kalibracja m.in. przy użyciu torów mionów podczas zbierania danych





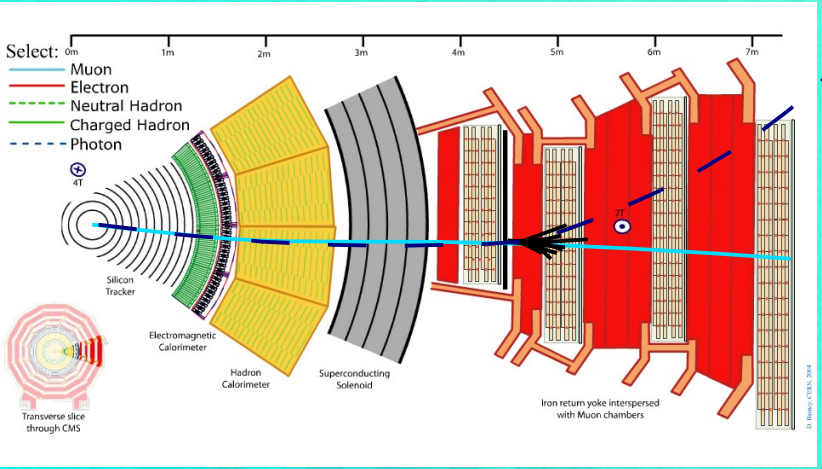
Kaskady w systemie mionowym





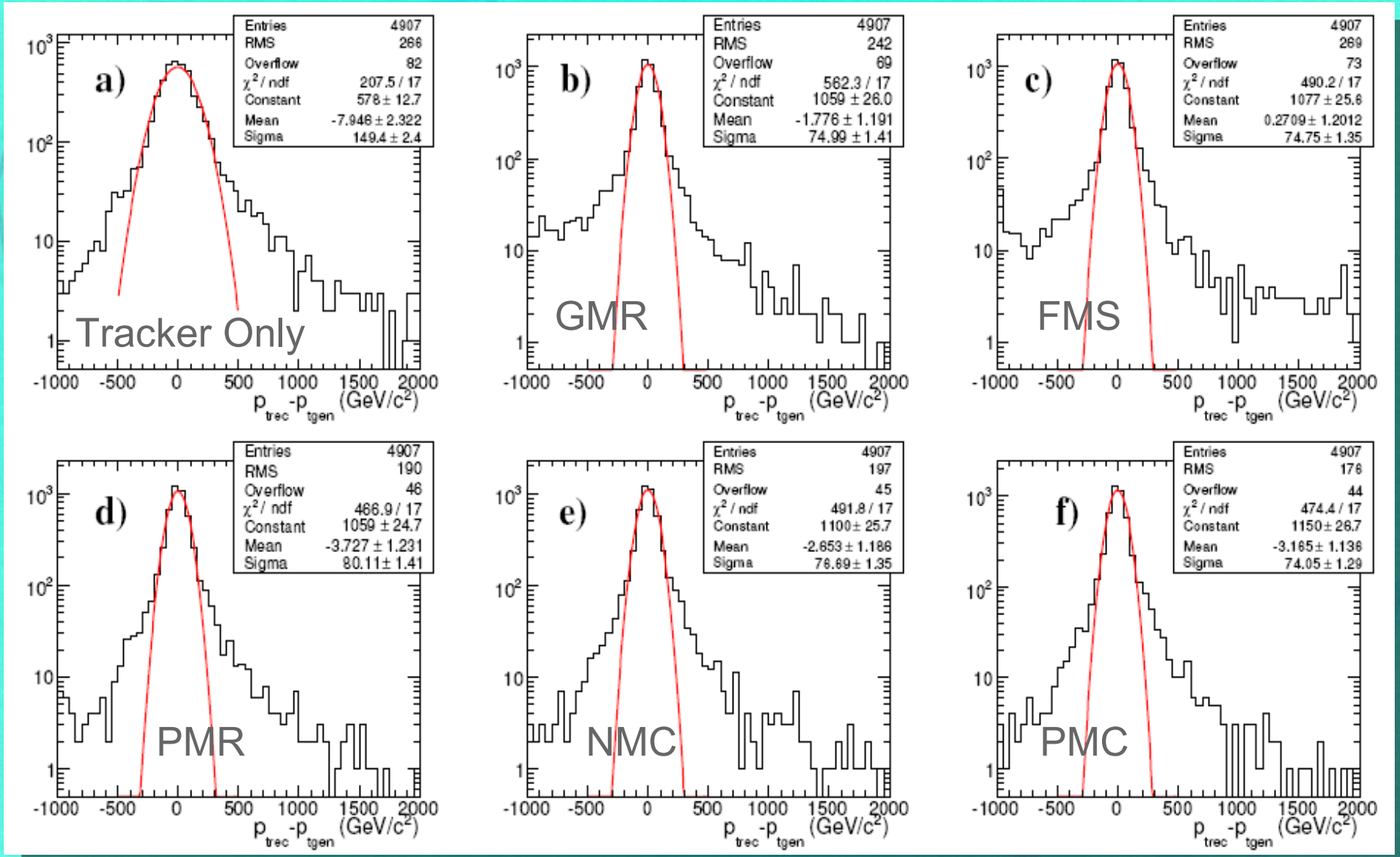
Rekonstrukcja toru dla P_μ ~TeV

- Pomysł #1 (FMS):
  „katastrofalne straty energii powodują zakrzywienie toru"
  - odrzucane wszystkie pomiary poza pierwszą stacją mionową.

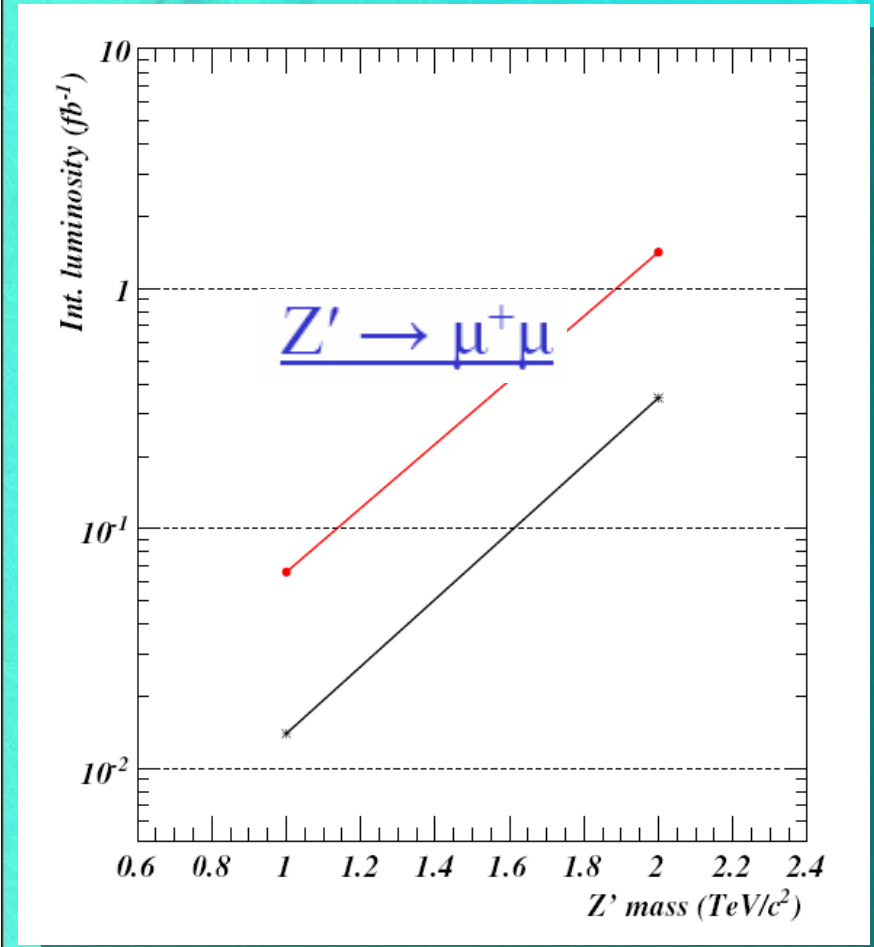


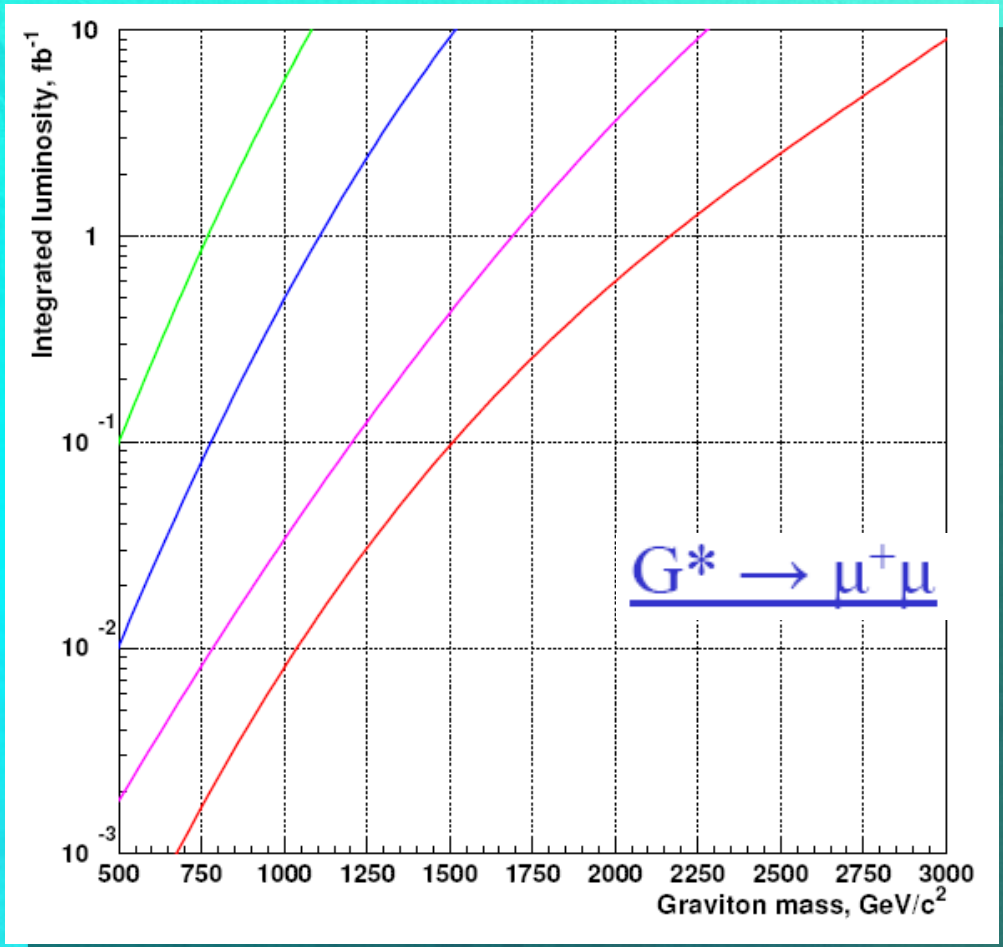
- Używany jeśli jakość dopasowania trajektorii zawierającej wszystkie stacje jest niska.
- Pomysł #2 (PMR)
  pomijane tylko stacje w których pojawiła się kaskada, ale nie zawsze – tylko w sytuacji gdy w kaskadzie nie można znaleźć segmentu toru <u>bardzo dobrze</u> pasującego do rekonstruowanej trajektorii.

Porównanie algorytmów rekonstrukcji



Wyniki – szacowana czułość eksperymentu





Obecne ograniczenia – 700-900 GeV (TeVatron)

Podsumowanie

- Start LHC ~~za rok~~ w 2008
- Grupy fizyczne przygotowują się do pierwszych danych
- Odkrycie czegoś całkiem nowego możliwe nawet w ciągu 1 roku
- cdn