

# Programowanie dla Wielkiego Zderzacza Hadronów

Wojciech Broniowski

Instytut Fizyki Jądrowej PAN  
Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach

Uniwersytet Pedagogiczny, 30.11.2016

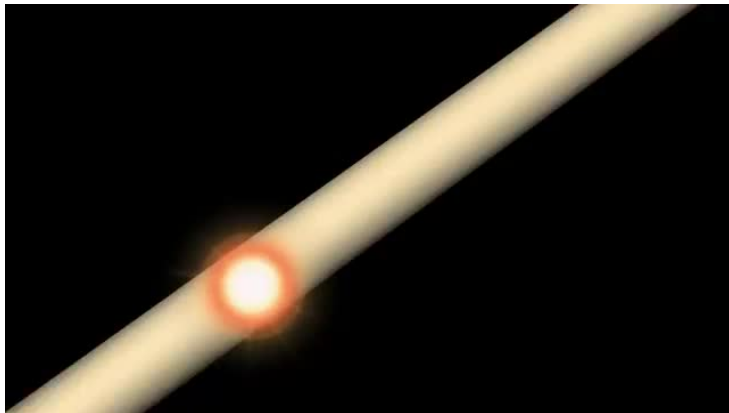


# I. LHC



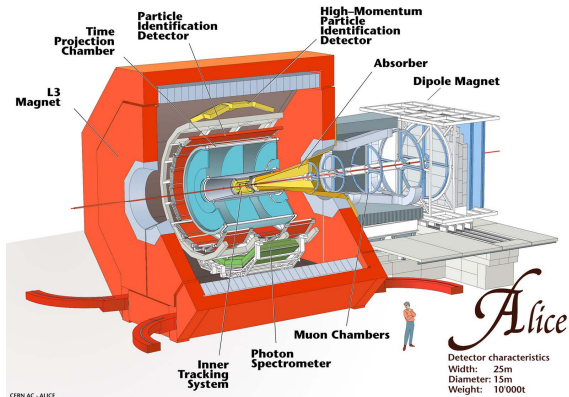
- Największa maszyna zbudowana przez Człowieka, 2008 rok, 6 mld SFR
- Tunel 27 km, do 175 m pod ziemią
- Przeciwbieżne wiązki protonów przyspieszane do  $0.999999 c$
- 1232 magnesy nadprzewodzące zimniejsze (1.9 K, nadciekły hel) niż temperatura przestrzeni kosmicznej (2.7 K)
- Ciśnienie w jonowodach dziesięć razy mniejsze niż na Księżycu ( $10^{-10}$  mm Hg, ultrawysoka próżnia)
- Masa magnesu detektora CMS = 10 000 ton ( $>$  wieża Eiffla)
- Zderzenia generują temperatury  $\sim 3 \times 10^{12}$  K, tj. 100 000 razy więcej niż we wnętrzu Słońca – warunki zaraz po Wielkim Wybuchu („Małe Wybuchy”)
- Obrazowanie 3D w detektorach tysięcy tworzonych cząstek
- $10^9$  zderzeń na sekundę  $\rightarrow$  systemy filtrowania (trygerowania)  $\rightarrow$  zapisywanie ok. 100-200 zderzeń na sekundę
- Energia 1 TeV to energia kinetyczna komara, ale LHC ściska tę energię w objętość bilion razy mniejszą od komara

# Jak działa LHC?



[<https://www.youtube.com/watch?v=0PIOHLxEC98>]

# Jeden z detektorów: ALICE



CERN AC - ALICE

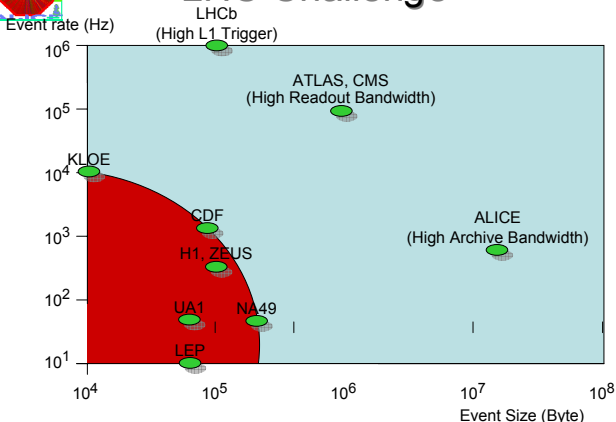
P. Vande Vyvre - CERN/PH

3

UK DTI - 30 June '04



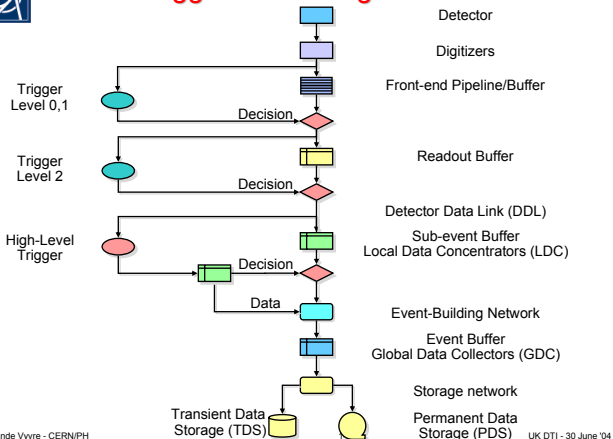
## LHC Challenge



P. Vande Vyvre - CERN/PH



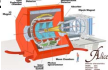
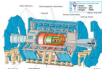


## Trigger & DAQ logical model





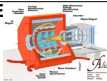
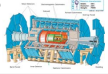
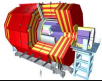



## DAQ @ LHC

		Event Size (Byte)	Readout (HLT input) (Events/s.) (GB/s)	
ALICE		Pb-Pb	$5 \times 10^7$	$2 \times 10^3$ 25
ATLAS		pp	$10^6$	$2 \times 10^3$ 10
CMS		pp	$10^6$	$10^5$ 100
LHCb		pp	$2 \times 10^5$	$40 \times 10^4$ 4

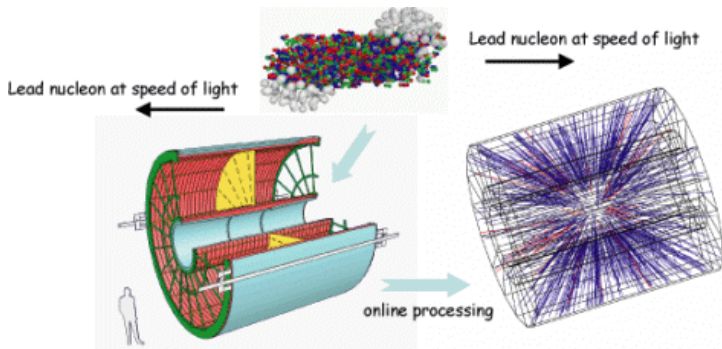


## Mass Storage @ LHC

		Readout (HLT output) (Events/s.) (MB/s)		Data archived Total/year (PBytes)
<b>ALICE</b>		<b>Pb-Pb</b>	200      1250	<b>2.3</b>
<b>ATLAS</b>		<b>pp</b>	100      100	<b>6.0</b>
<b>CMS</b>		<b>pp</b>	100      100	<b>3.0</b>
<b>LHCb</b>		<b>pp</b>	200      40	<b>1.0</b>

# Wyzwania informatyczne przy akwizycji i danych

[LHC Run I (2010-2013)]

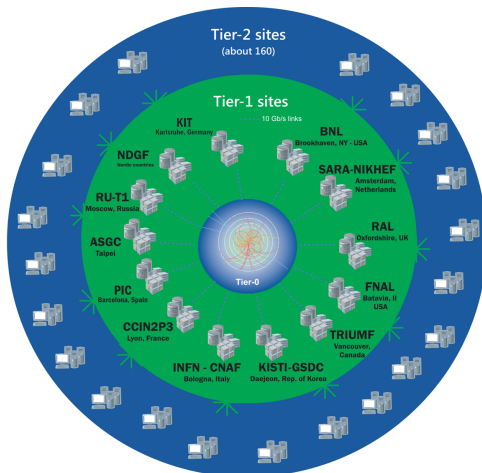


[Peta = bilion =  $10^{12}$  = 1000 Tera]

- Facebook: 200 PB rocznie
- Cały Youtube: 400 PBd

→ dane LHC: 100 PB (mniej niż sieci społecznościowe)

# Poziomy centrów danych (GRID)

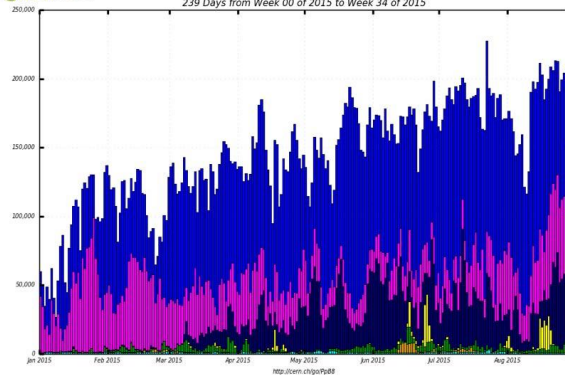


3 tier-2 w Polsce

# 350 000 rdzeni CPU



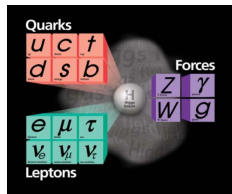
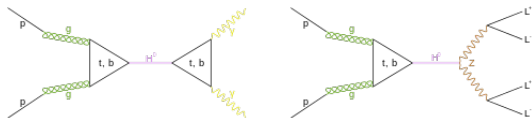
Slots of Running Jobs  
239 Days from Week 00 of 2015 to Week 34 of 2015



■ MC Simulation ■ Analysis ■ MC Reconstruction ■ Data Processing ■ Group Production  
■ TO Processing ■ Others

Maximum: 227,585, Minimum: 26,813, Average: 143,513, Current: 81,330

- Jest cząstka Higgosa (2012) o masie 126 GeV



- Nie widać cząstek supersymetrycznych
- Potwierdzenie tworzenia plazmy kwarkowo-gluonowej

## II. Ultrarelatywistyczne zderzenia jądrowe

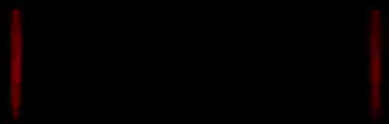


# Nierelatywistyczne zderzenia pocisku z różnymi tarczami



Pb+Pb  $E_{cm}=5.5$  TeV

$t=-19.00$  fm/c



H. Weber / UrQMD Frankfurt/M

Dwa zjawiska:

- Przepływ kolektywny
- Tłumienie dźwięków

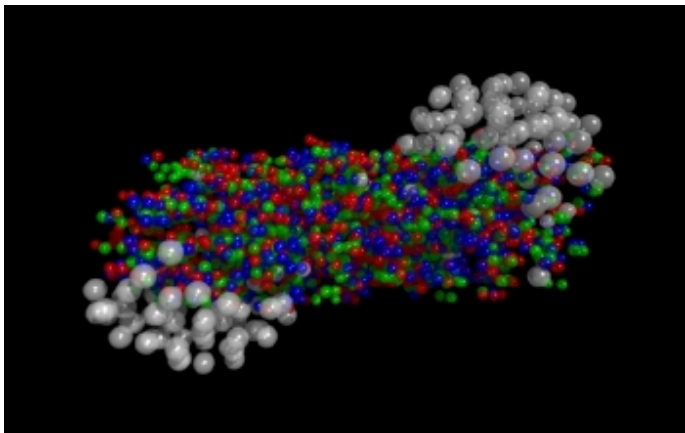
# 3 etapy

czas →

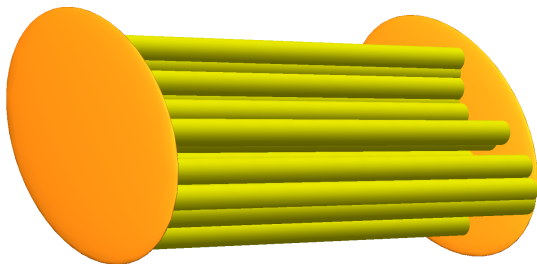
partony   termalizacja   plazma kwarkowo gluonowa   wymrozenie   hadrony



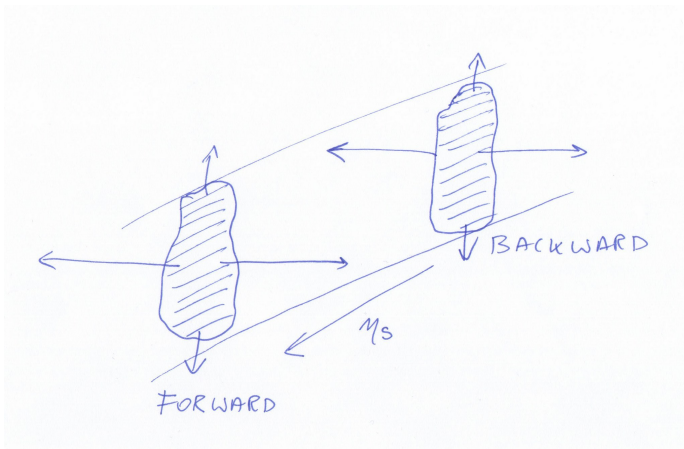
Każdy etap wymaga intensywnego modelowania komputerowego



Uczestnicy i widzowie

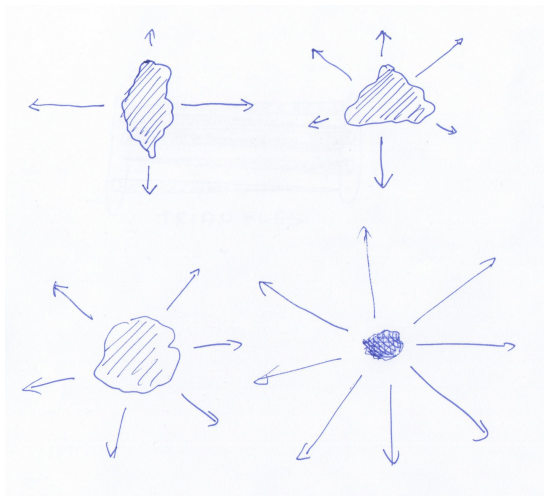


Struny



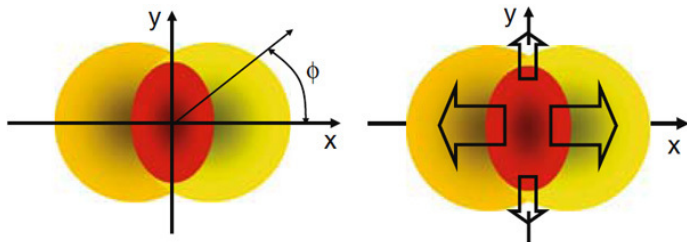
Zachowanie kształtu w kier. podłużnym

# Przeptyw kolektywny



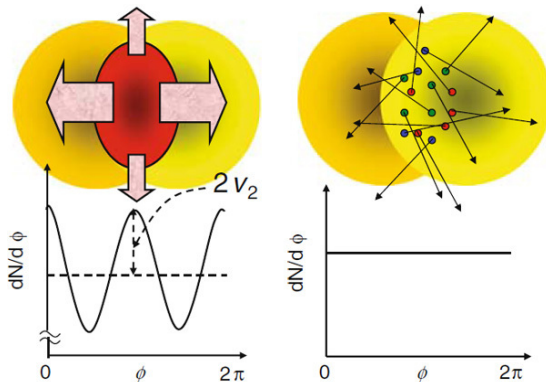
Ściśnięcie → ekspansja





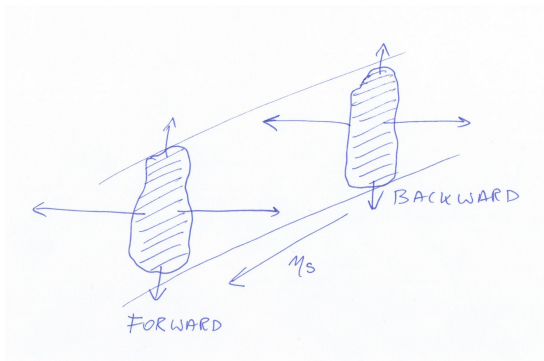
Przepływ eliptyczny

# Przeptyw kolektywny



Niezbędne oddziaływania (przetworzenie kształtu na przepływ)

# Zjawisko grzbietu w korelacjach dwucząstkowych



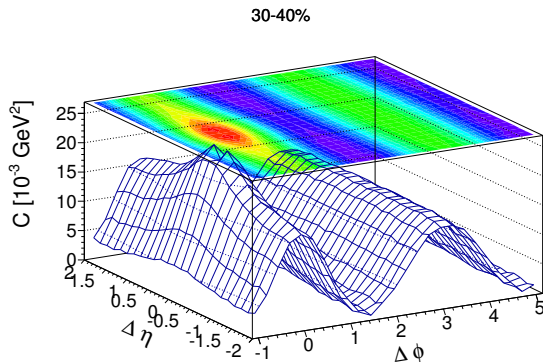
Kolimacja przód - tył

# Zjawisko grzbietu w korelacjach dwucząstkowych



... jak u surferrów!

# Zjawisko grzbietu w korelacjach dwucząstkowych

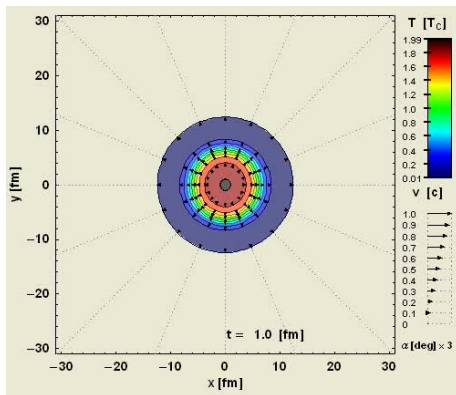


Grzbiet (symulacja w modelu, podobnie w doświadczeniu)

$\phi$  - kąt azymutalny w płaszczyźnie poprzecznej,  $\eta = \frac{1}{2} \log \left( \frac{p_{\parallel} + p_{\perp}}{p_{\parallel} - p_{\perp}} \right)$

Występuje też w zderzeniach **proton-proton** o dużej krotności (!)

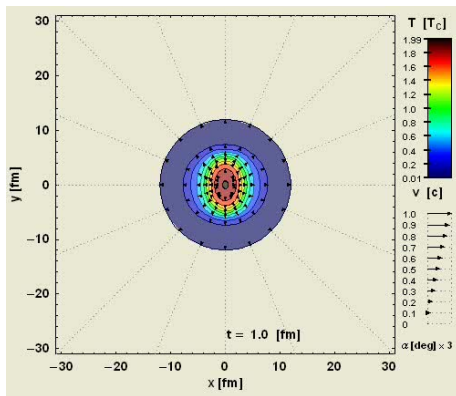
## Zderzenia centralne (0-20%)



[M. Chojnacki, W. Florkowski]

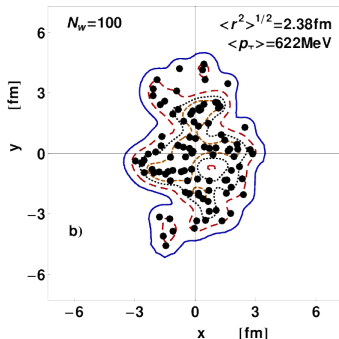
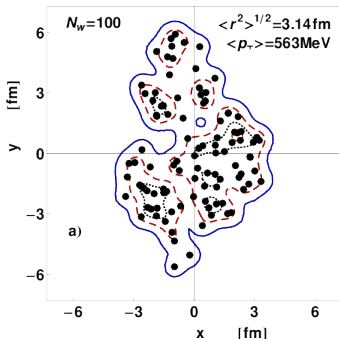
Czułość na war. początkowe, równ. stanu, współczynniki kinetyczne (lepkość, ...)

## Zderzenia niecentralne (40-60%)



[M. Chojnacki, W. Florkowski]

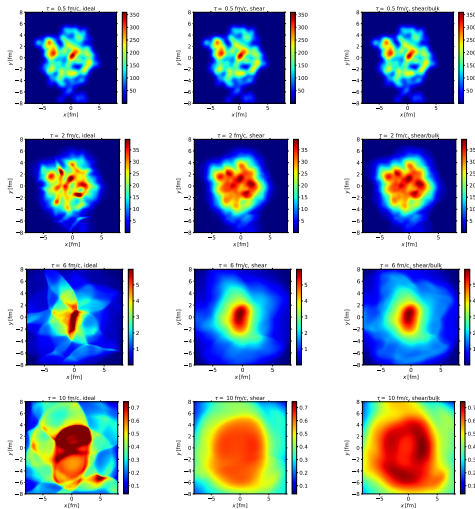
# Fluktuacje warunku początkowego



[P. Bożek, WB]

- Dwa zderzenia o tej samej liczbie uczestników ( $N_W = 100$ )
- Różny rozmiar i kształt  $\rightarrow$  wyższe składowe harmoniczne przepływu
- Konieczność hydrodynamiki „zderzenie po zderzeniu”, 3+1D, lępiej  $\rightarrow$  tysiące godz. CPU





[D. Bazow, U. Heinz, M. Strickland, arXiv:1608.06577]

## Nvidia: Compute Unified Device Architecture

Number of grid points	C/CPU (ms/step)	CUDA/GPU (ms/step)	Speedup
$128 \times 128 \times 32$	7145.978	63.261	112.960
$128 \times 128 \times 64$	13937.896	123.527	112.833
$128 \times 128 \times 128$	30717.367	244.450	125.659
$256 \times 256 \times 32$	25934.547	236.593	109.617
$256 \times 256 \times 64$	57387.141	472.391	121.482
$256 \times 256 \times 128$	129239.959	939.340	137.586
$256 \times 256 \times 256$	268448.459	1865.142	143.929

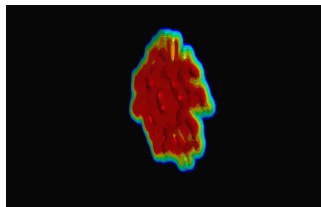
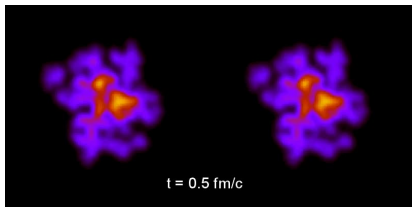
[D. Bazow, U. Heinz, M. Strickland, arXiv:1608.06577]

Przyspieszenie o 2 rzędy wielkości!

- 1 Wczesna faza: [GLISSANDO](#)
- 2 Hydrodynamika (W. Florkowski, P. Bożek, M. Chojnacki, R. Ryblewski)
- 3 Wymrożenie/hadronizacja [SHARE](#), [THERMINATOR](#)

# Podsumowanie

- LHC → nowe wyzwania dla informatyki
- Fizyka wymaga precyzyjnego modelowania, aby odnieść się do pytań o własności plazmy kwarkowo-gluonowej
- Jaki jest warunek początkowy? nieperturbacyjna chromodynamika, kolorowy kondensat szklany, hipoteza AdS/CFT, ...
- Nowe technologie obliczeniowe, CUDA/GPU



[B. Schenke <https://quark.phy.bnl.gov/~bschenke>]