

# Podróż do początków Wszechświata czyli czym zajmujemy się w laboratorium CERN

**dr hab. inż. Łukasz Graczykowski, prof. PW**  
Politechnika Warszawska – Wydział Fizyki – Zakład Fizyki Jądrowej

# Czym jest CERN?



źródło: cern.ch

- *Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire*
- *Europejska Organizacja Badań Jądrowych*
- Organizacja międzynarodowa położona jednocześnie we Francji i Szwajcarii
- 25 krajów członkowskich
- Założona w 1954 r. (12 krajów założycielskich)
- Polska przystąpiła do CERN w 1991 r.

W imieniu Rzeczypospolitej Polskiej  
PREZYDENT  
Rzeczypospolitej Polskiej  
podaje do powszechnej wiadomości:

W dniu 1 lipca 1953 roku została sporządzona w Paryżu a następnie poprawiona Konwencja o utworzeniu Europejskiej Organizacji Badań Jądrowych oraz Protokół Finansowy stanowiący jej załącznik.

Po zaznajomieniu się z powyższą konwencją oraz Protokół Finansowym, w imieniu Rzeczypospolitej Polskiej oświadczam, że:

- zostały one uznane za słuszne zarówno w całości jak i każde z postanowień w nich zawartych,
- Rzeczpospolita Polska postanowiła przystąpić do powyższej Konwencji i Protokołu Finansowego,
- Będą one niezmiennie zachowywane.

Na dowód czego wydany został Akt niniejszy opatrzony pieczęcią Rzeczypospolitej Polskiej.

Dano w Warszawie, dnia 13 maja 1991 roku

PREZYDENT  
RZECZYPOSPOLITEJ POLSKIEJ

Lech Wałęsa

# CERN w liczbach

- Roczny budżet 1200 MCHF
- 2700 pracowników
- 1200 stypendystów

## 25 Krajów Członkowskich

Austria – Belgium – Bulgaria – Czech Republic  
Denmark – Estonia – Finland – France – Germany  
Greece – Hungary – Israel – Italy – Netherlands  
Norway – Poland – Portugal – Romania – Serbia  
Slovakia – Slovenia – Spain – Sweden – Switzerland  
United Kingdom

## 10 Krajów Stowarzyszonych

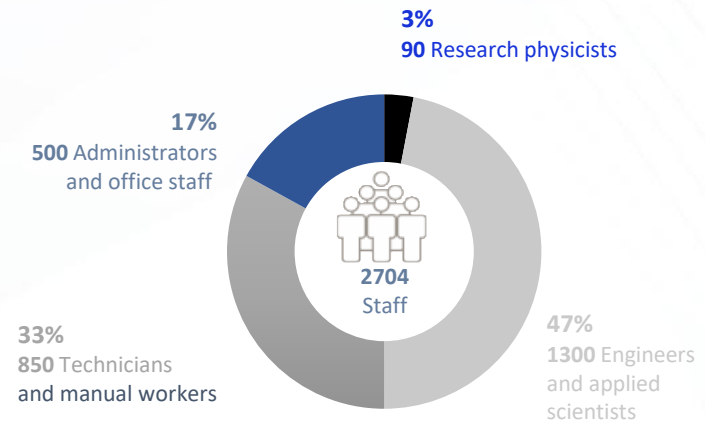
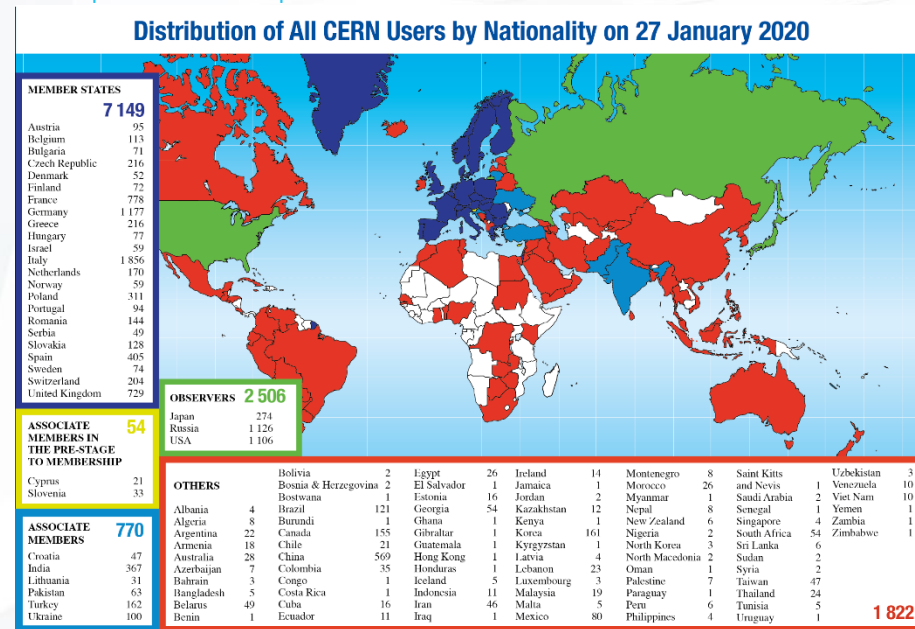
Brazil – Croatia – Cyprus – India – Ireland – Latvia Lithuania –  
Pakistan – Türkiye – Ukraine

## 4 Obserwatorów

Japan – USA – European Union – UNESCO

## ~ 50 Umów o Współpracy

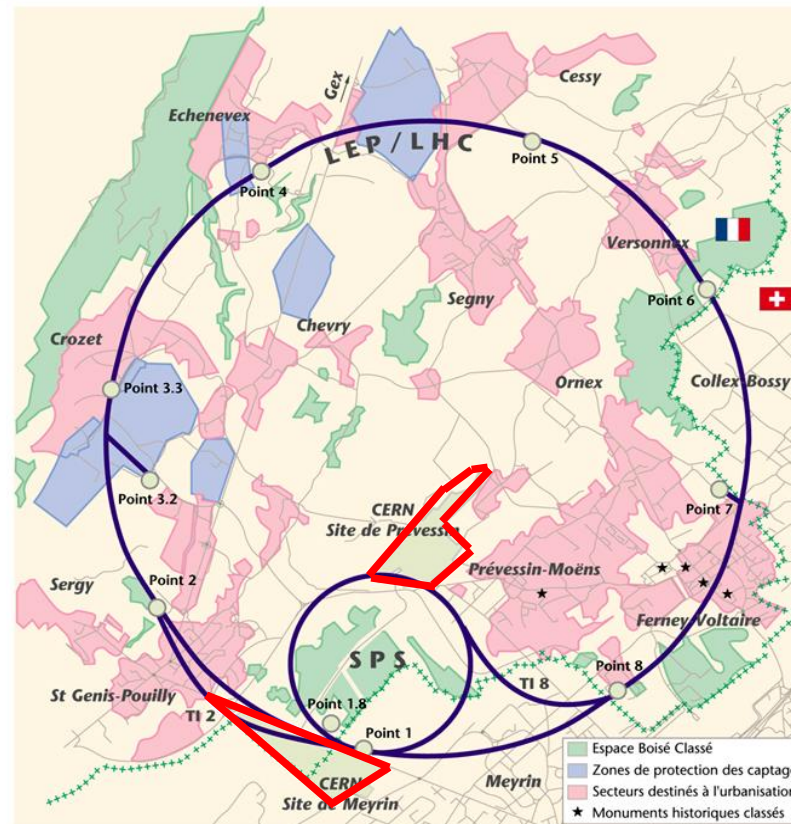
Albania – Algeria – Argentina – Armenia – Australia – Azerbaijan – Bahrain  
Bangladesh – Bolivia – Bosnia and Herzegovina – Canada – Chile – Colombia  
Costa Rica – Ecuador – Egypt – Georgia – Guatemala – Honduras – Iceland  
Iran – Jordan – Kazakhstan – Lebanon – Malta – Mexico – Mongolia – Montenegro  
Morocco – Nepal – New Zealand – North Macedonia – Paraguay – Palestine  
People's Republic of China – Peru – Philippines – Qatar – Saudi Arabia  
South Africa – Sri Lanka – Thailand – Republic of Korea – Tunisia  
United Arab Emirates – Uruguay – Vietnam



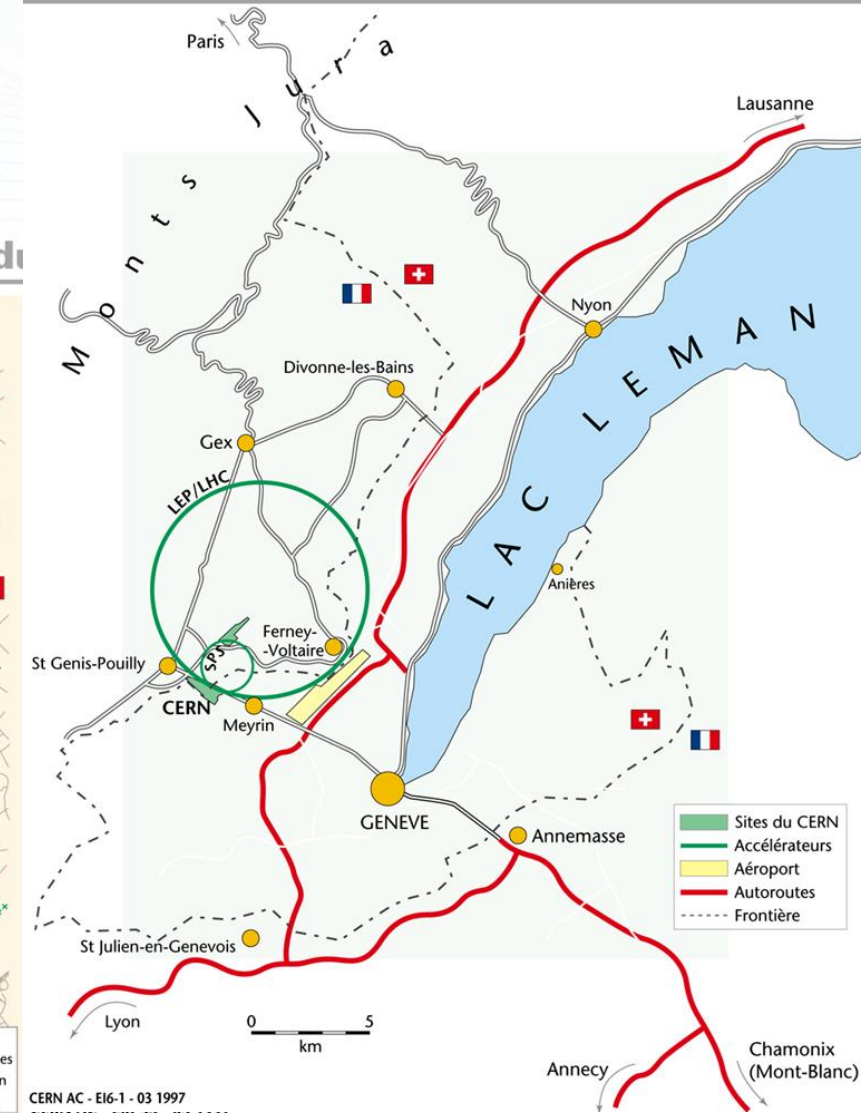
# Lokalizacja CERN – granica FR i CH

- Dwa campusy (Meyrin i Preveessin)
  - Meyrin – CH
  - Preveessin – FR
- Tunel LHC w większości po stronie FR (tylko częściowo w CH)

Principales zones d'occupation des sols à proximité de

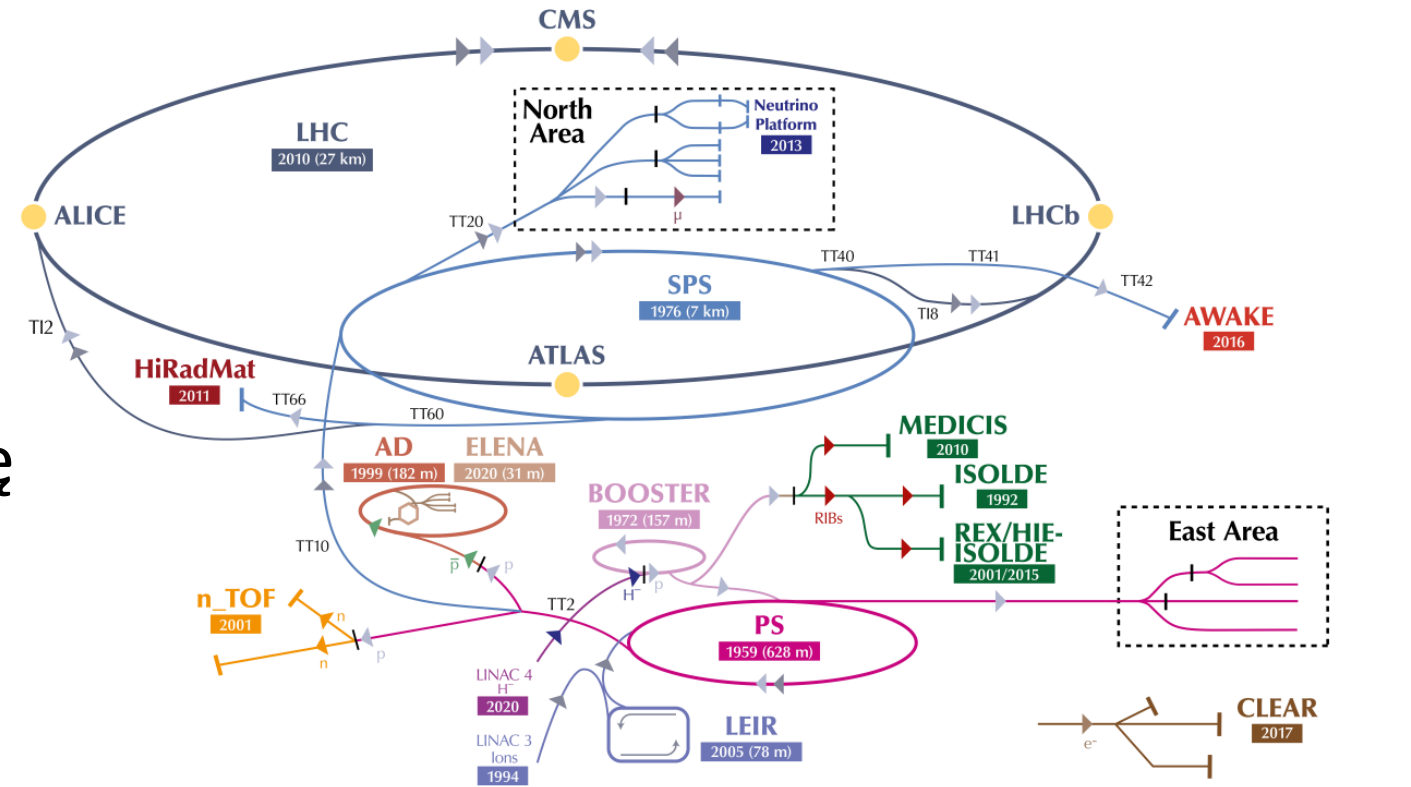


Carte de situation



# CERN to nie tylko LHC

- Komplex wielu akceleratorów (~10)
- Na większości z nich odbywają się różne programy fizyczne
- Jedynie LHC jest podwójnym synchrotronem – 2 przeciwbiegłe wiązki



▶  $H^-$  (hydrogen anions) ▶ p (protons) ▶ ions ▶ RIBs (Radioactive Ion Beams) ▶ n (neutrons) ▶  $\bar{p}$  (antiprotons) ▶  $e^-$  (electrons) ▶  $\mu$  (muons)

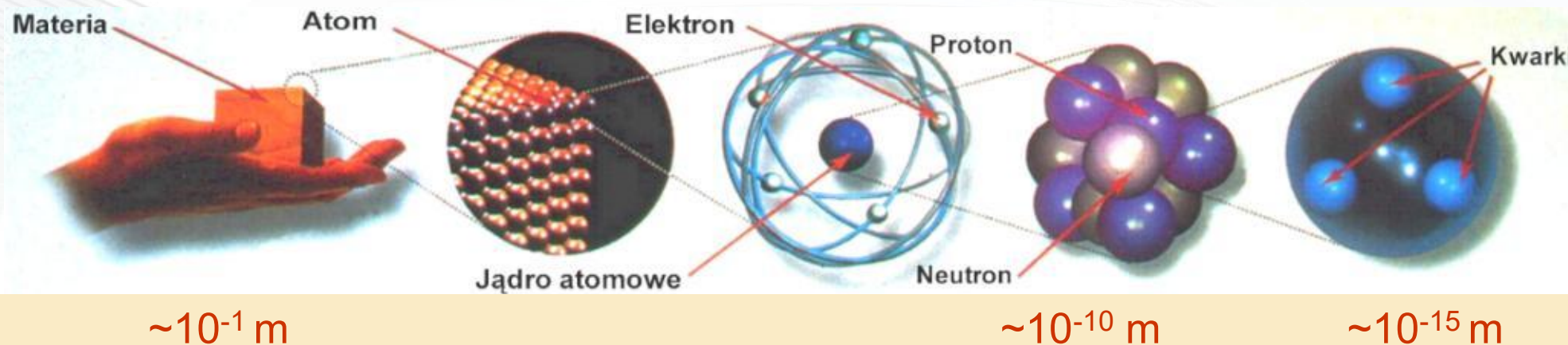
LHC - Large Hadron Collider // SPS - Super Proton Synchrotron // PS - Proton Synchrotron // AD - Antiproton Decelerator // CLEAR - CERN Linear Electron Accelerator for Research // AWAKE - Advanced WAKEfield Experiment // ISOLDE - Isotope Separator OnLine // REX/HIE-ISOLDE - Radioactive Experiment/High Intensity and Energy ISOLDE // MEDICIS // LEIR - Low Energy Ion Ring // LINAC - LINear ACcelerator // n\_TOF - Neutrons Time Of Flight // HiRadMat - High-Radiation to Materials // Neutrino Platform

# Filary misji CERN

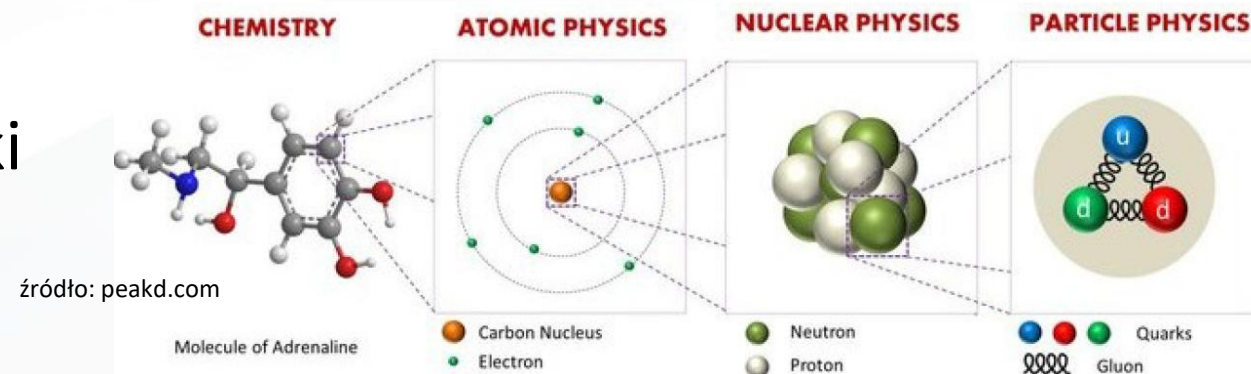
- Badania naukowe na najwyższym poziomie
- Edukacja i trening
- Technologia i innowacje
- Współpraca międzynarodowa



# Badania – poznawanie struktury materii



- Badamy podstawowe cegiełki budujące materię oraz oddziaływania (siły) opisujące ich zachowanie
- Poznajemy jaki Wszechświat był ułamki sekundy po Wielkim Wybuchu



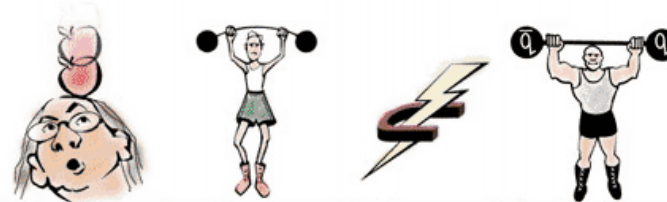
źródło: peakd.com



# Cząstki elementarne – Model Standardowy

- Teoria opisująca cząstki elementarne
  - 12 fermionów (6 kwarków i 6 leptonów)
  - 4 bozony cechowania przenoszące oddziaływania
  - Bozon Higgsa odpowiedzialny za nadawanie masy
  - **analogiczne cząstki antymaterii (odwrotny ładunek el.)**
- Zawiera trzy z czterech fundamentalnych oddziaływań
  - silne
  - słabe
  - elektromagnetyczne
  - **bez grawitacji**

źródło: ifj.edu.pl



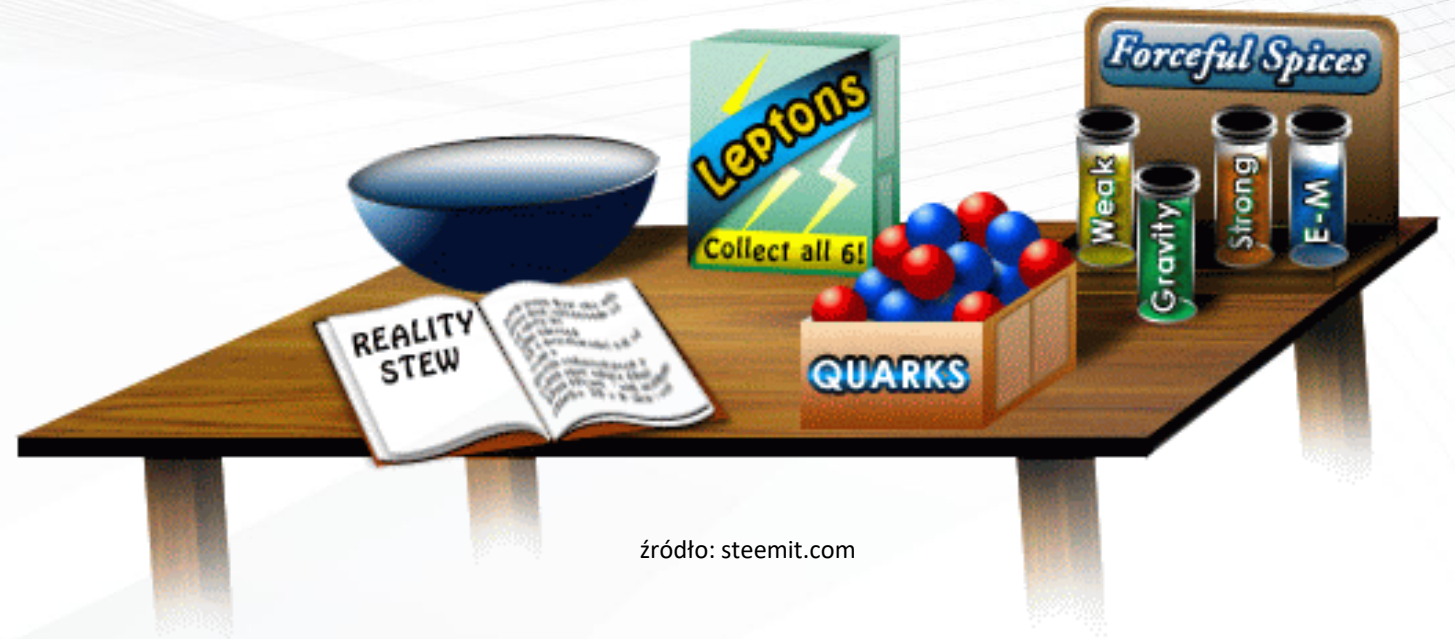
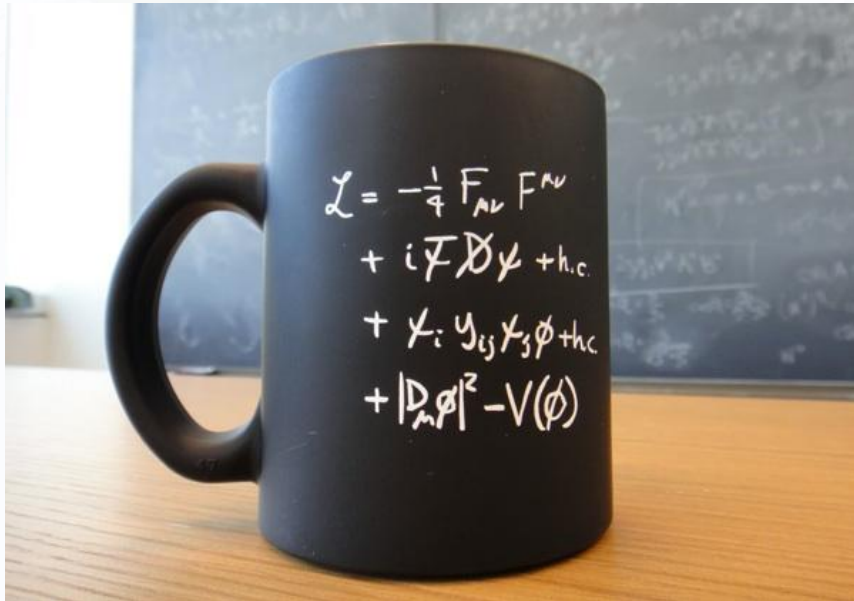
Oddziaływanie	grawitacyjne	słabe elektrosłabe	elektromagnetyczne	silne
Przenoszone przez	grawiton	$W^+ W^- Z^0$	foton	gluon
Działa na	wszystko	kwarki i leptony	kwarki, naładowane leptony i $W^+, W^-$	kwarki i gluony

	Fermiony			Bozony		
Kwarki	$2.3 \text{ MeV}/c^2$ $\frac{2}{3}$ <b>u</b> górnny	$1.27 \text{ GeV}/c^2$ $\frac{2}{3}$ <b>c</b> powabny	$173.5 \text{ GeV}/c^2$ $\frac{2}{3}$ <b>t</b> szczytowy	Bozony cechowania	$0$ $0$ $1$ <b><math>\gamma</math></b> foton	$91.2 \text{ GeV}/c^2$ $0$ $1$ <b><math>Z^0</math></b> bozon Z
	$4.8 \text{ MeV}/c^2$ $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ <b>d</b> dolny	$95 \text{ MeV}/c^2$ $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ <b>s</b> dziwny	$4.2 \text{ GeV}/c^2$ $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ <b>b</b> spodni		$0$ $0$ $1$ <b>g</b> gluon	$80.4 \text{ GeV}/c^2$ $\pm 1$ $1$ <b><math>W^\pm</math></b> bozon W
	$0.511 \text{ MeV}/c^2$ $-1$ $\frac{1}{2}$ <b>e</b> elektron	$105.7 \text{ MeV}/c^2$ $-1$ $\frac{1}{2}$ <b><math>\mu</math></b> mion	$1.777 \text{ GeV}/c^2$ $-1$ $\frac{1}{2}$ <b><math>\tau</math></b> taon		$?126 \text{ GeV}/c^2$ $0$ $0$ <b><math>H^0</math></b> bozon Higgsa	
	$<2.2 \text{ eV}/c^2$ $0$ $\frac{1}{2}$ <b><math>\nu_e</math></b> neutrino elektronowe	$<170 \text{ keV}/c^2$ $0$ $\frac{1}{2}$ <b><math>\nu_\mu</math></b> neutrino mionowe	$<15.5 \text{ MeV}/c^2$ $0$ $\frac{1}{2}$ <b><math>\nu_\tau</math></b> neutrino taonowe			
	I	II	III			

# Model Standardowy

- Cząstki + Oddziaływania + Teoria matematyczna => Opis rzeczywistości

źródło: quantumdiaries.org

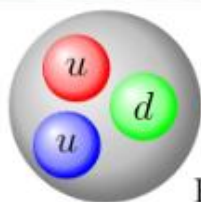


źródło: steemit.com

# Hadrony

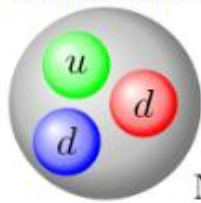
- W normalnych warunkach kwarki są **uwięzione w hadronach**

## Bariony

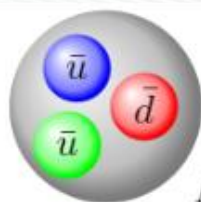


Proton

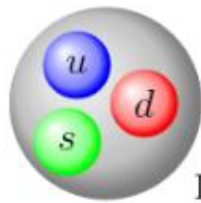
Nucleons



Neutron



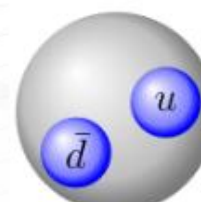
Anti-proton



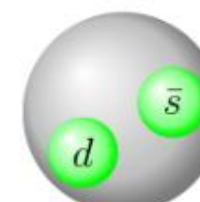
Hyperon  
Lambda

Exotic hadrons

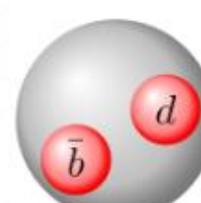
## Mezony



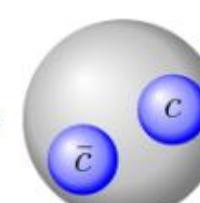
Pion  
 $\pi^+$



Kaon  
 $K^0$

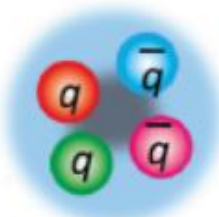


Open beauty  
 $B^0$



Charmonium  
 $J/\psi$

Tetraquarks



<https://phys.org>



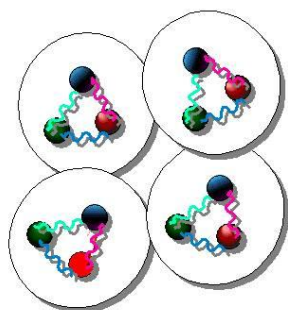
Pentaquarks

<https://wikipedia.org>

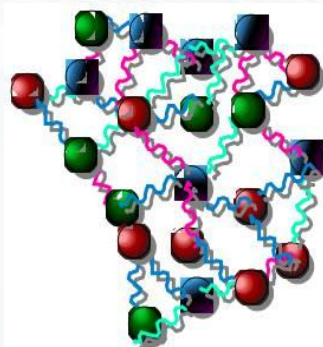
# Jak uwolnić kwarki z hadronów?

- Podgrzać i/lub ścisnąć (dodać energii)

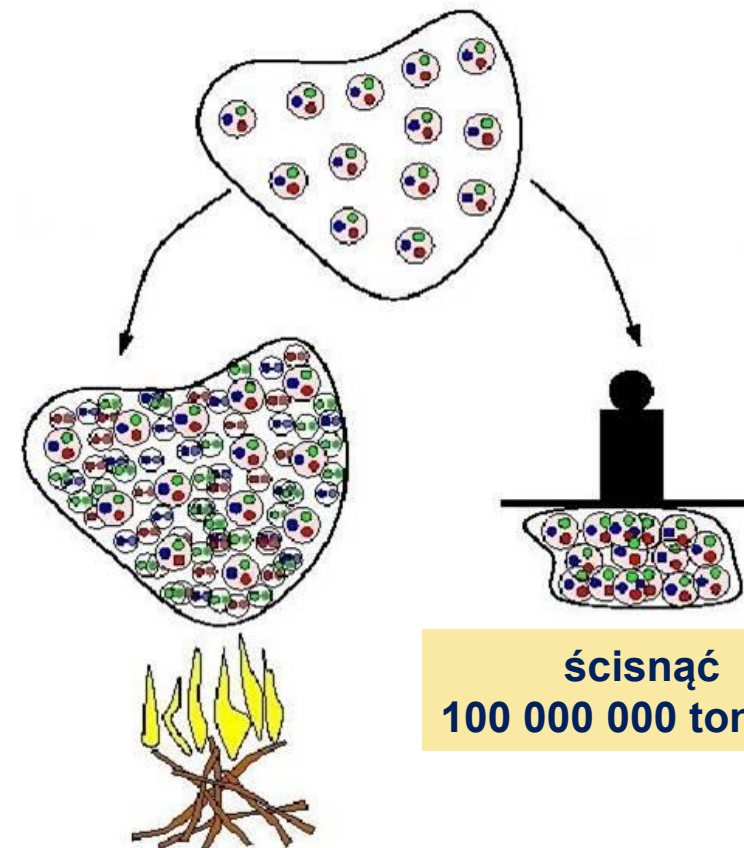
**Materia hadronowa:**  
kwarki uwięzione w protonach i neutronach



?



**Materia kwarkowa:**  
kwarki są swobodne i mogą się przemieszczać

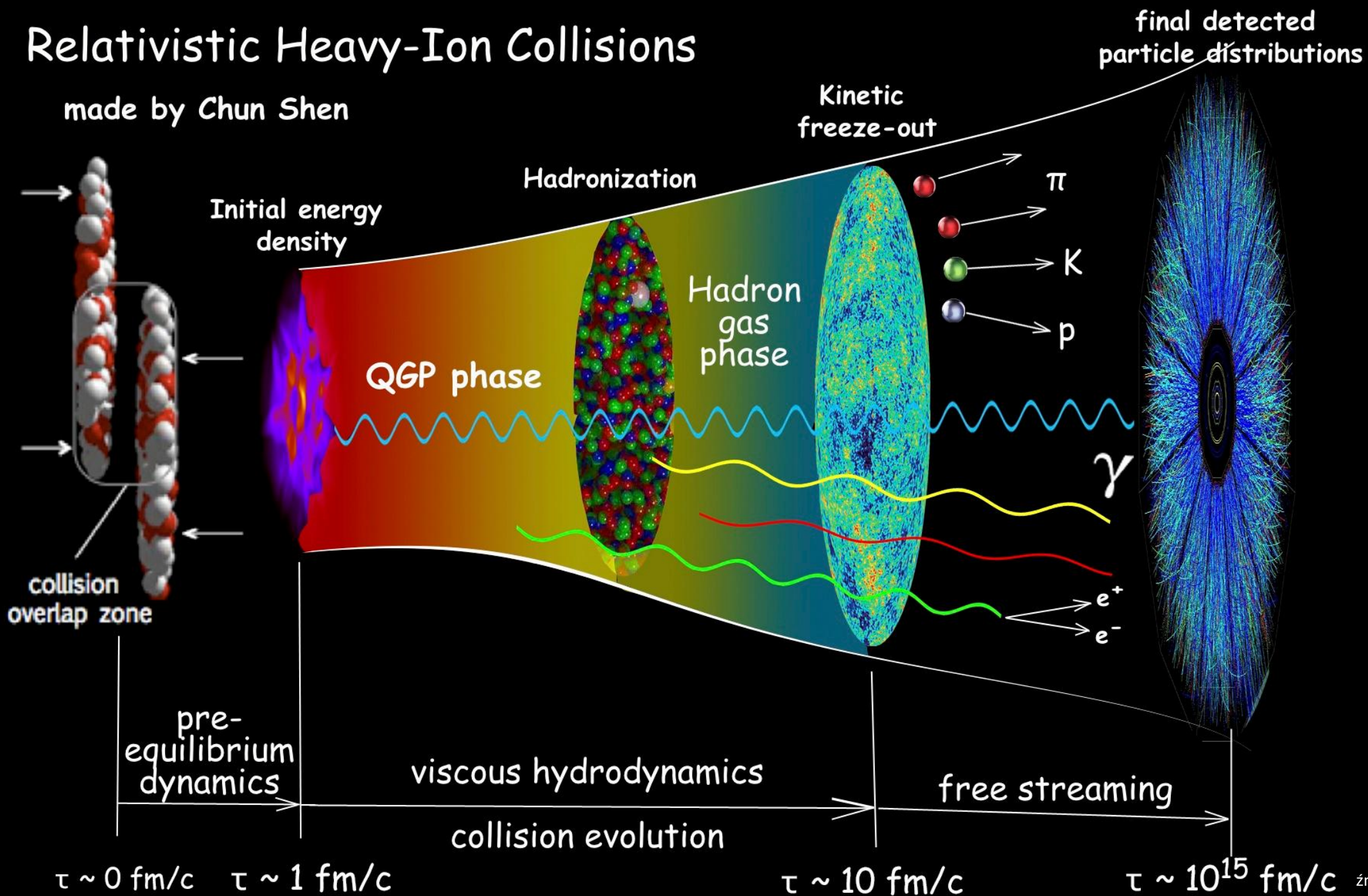


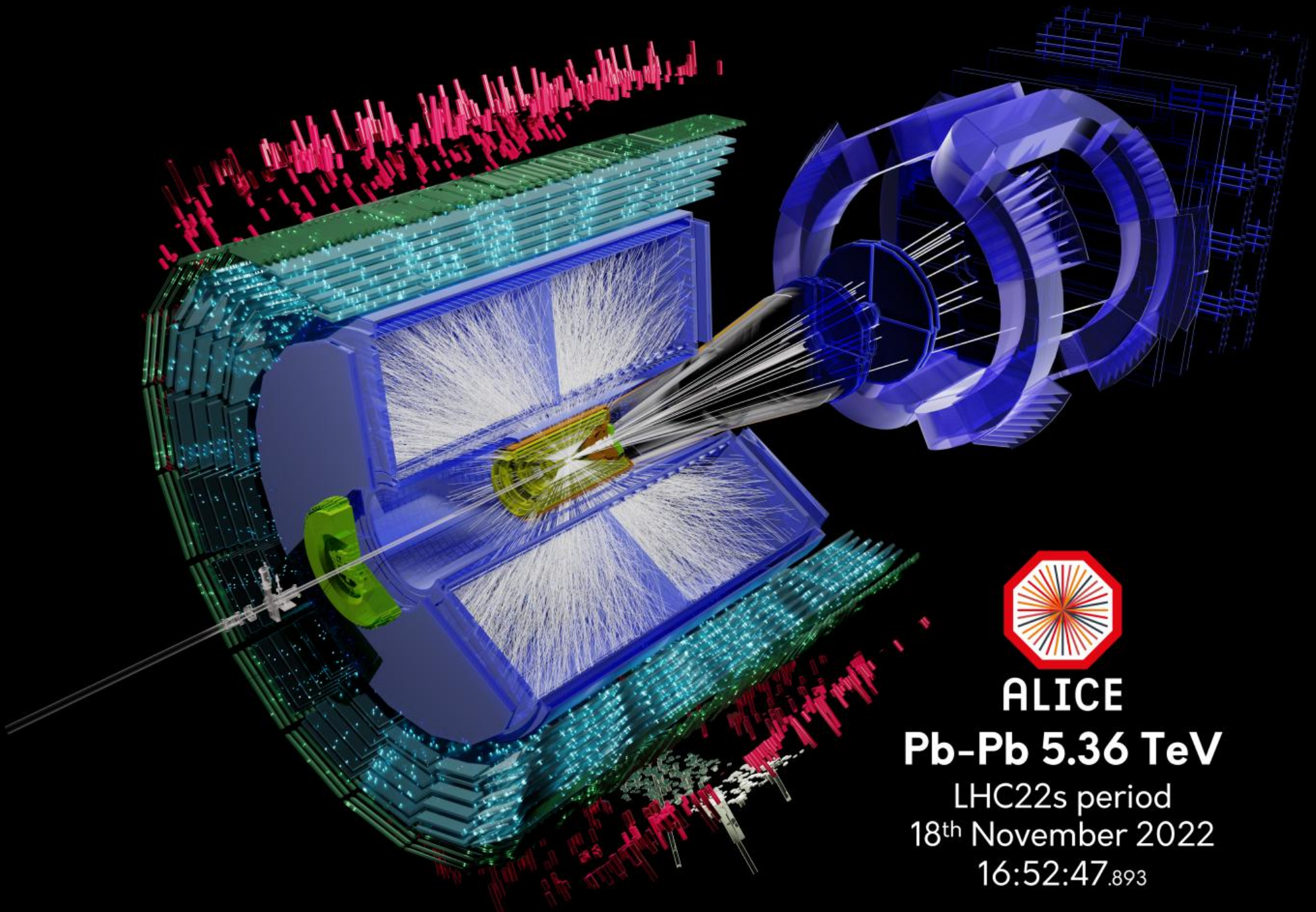
podgrzać: 1 000 000 000 000 °C

ścisnąć  
100 000 000 ton/cm<sup>3</sup>

# Relativistic Heavy-Ion Collisions

made by Chun Shen



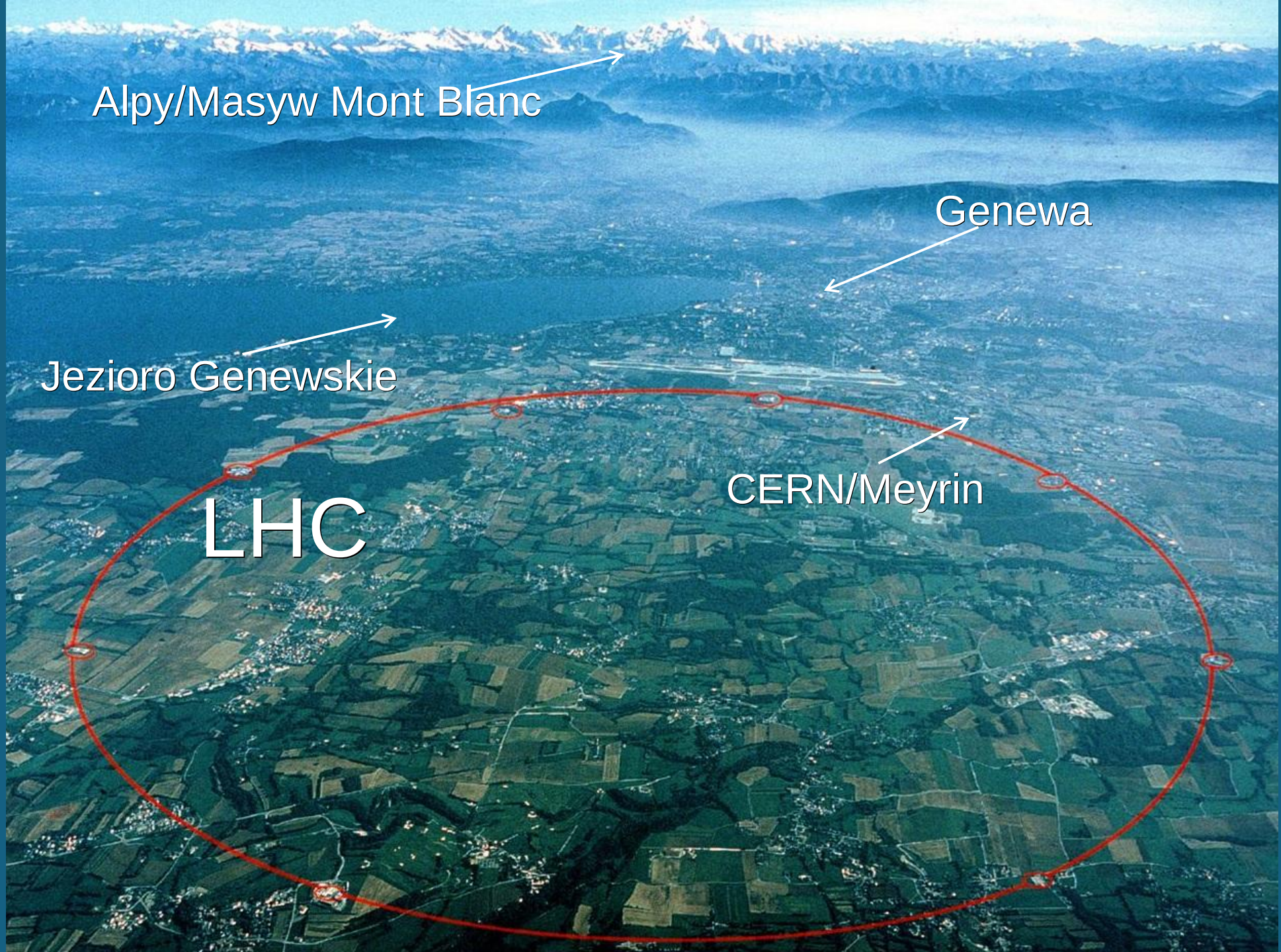


**ALICE**

**Pb-Pb 5.36 TeV**

LHC22s period  
18<sup>th</sup> November 2022

16:52:47.893



Alpy/Masyw Mont Blanc

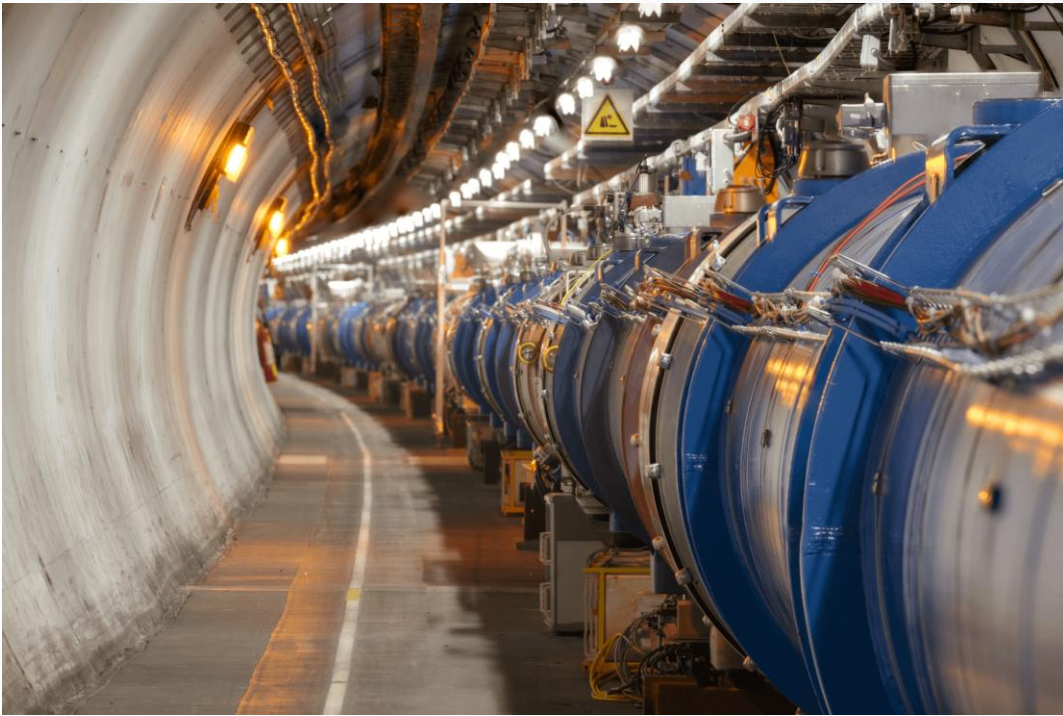
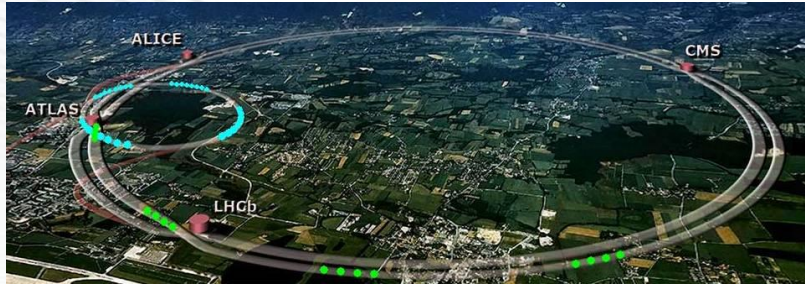
Genewa

Jezioro Genewskie

CERN/Meyrin

LHC

# Wielki Zderzacz Hadronów – Large Hadron Collider



**LHC - Large Hardon Collider**  
**(Wielki Zderzacz Hadronów)**

**LHC**  
to prawdziwa księga rekordów  
Guinnessa

Głębokość  
tunelu akc.  
**H=100m**

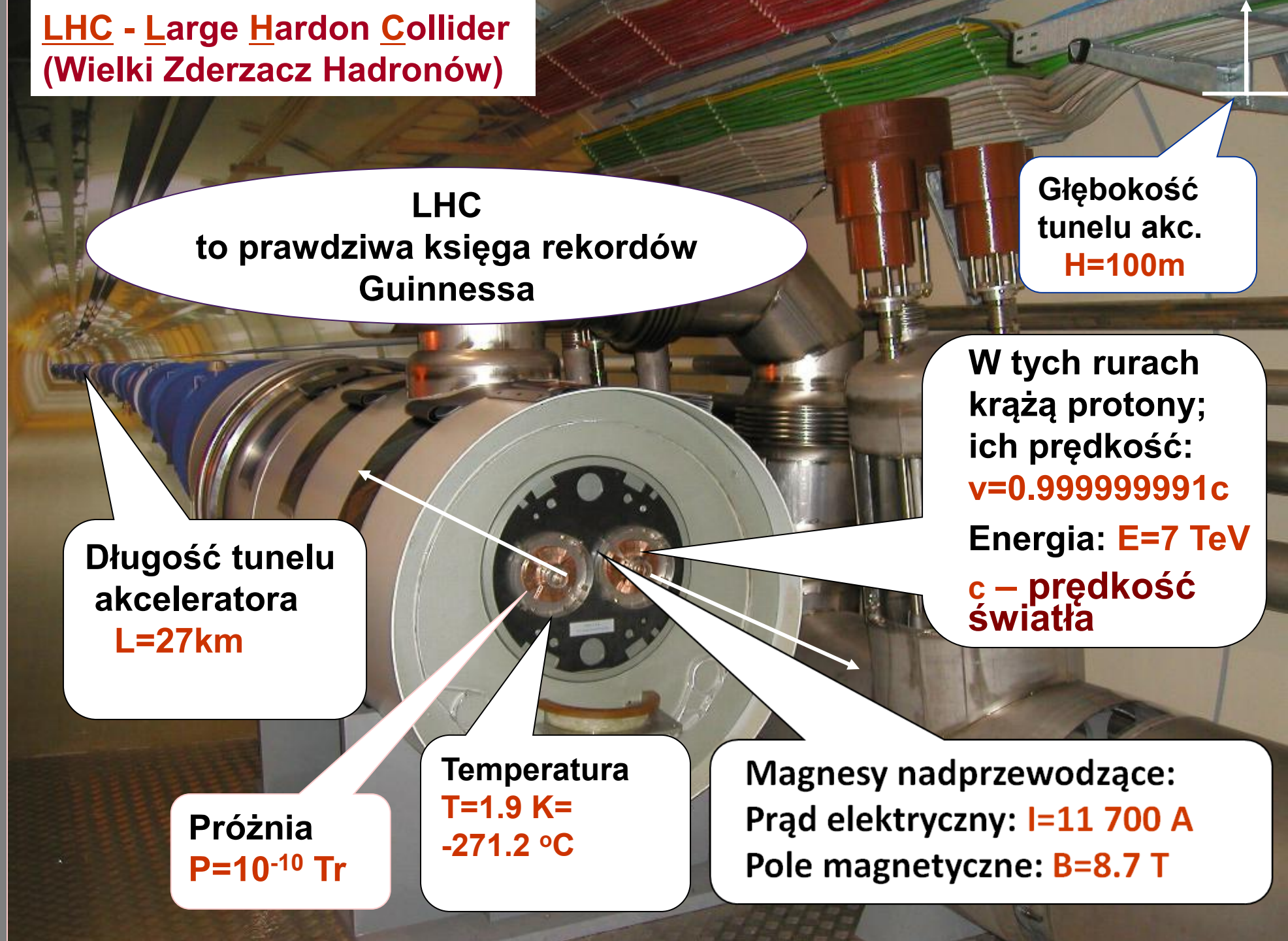
W tych rurach  
krążą protony;  
ich prędkość:  
 **$v=0.999999991c$**   
Energia: **E=7 TeV**  
**c – prędkość**  
**światła**

Długość tunelu  
akceleratora  
**L=27km**

Próżnia  
 **$P=10^{-10}$  Tr**

Temperatura  
**T=1.9 K=**  
**-271.2 °C**

Magnesy nadprzewodzące:  
Prąd elektryczny: **I=11 700 A**  
Pole magnetyczne: **B=8.7 T**

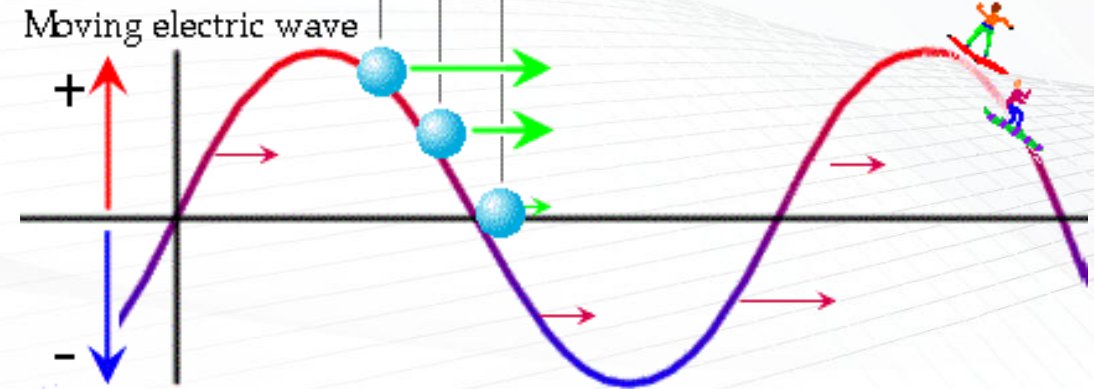
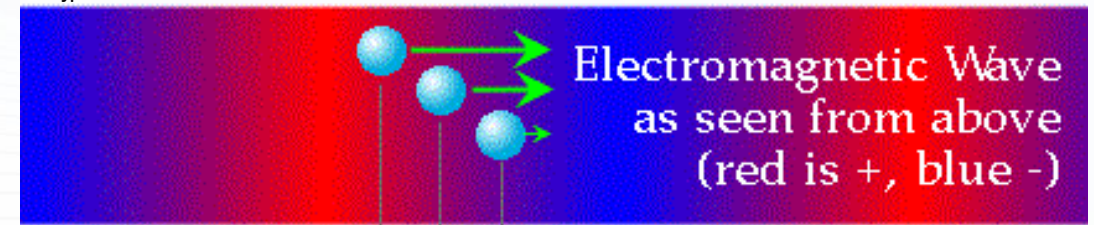


# Jak działa akcelerator?

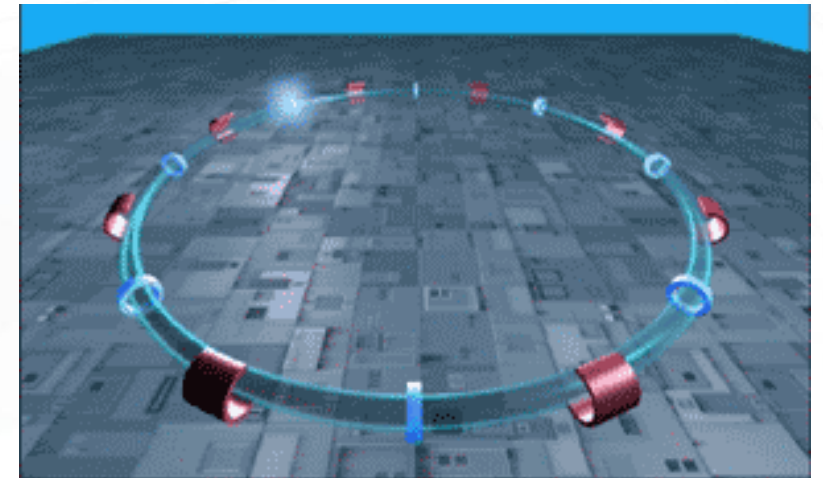
- Przyspieszać możemy tylko **cząstki naładowane**
  - elektrony
  - protony (jądro wodoru)
  - jądra atomowe cięższych pierwiastków
  - teoretycznie inne bardziej egzotyczne leptony i hadrony (zależnie od ich czasu życia – np. proponowany akcelerator mionów)
- **Pole elektryczne – przyspieszanie**
- **Pole magnetyczne - zakrzywianie**

źródło: kek.jp  
źródło: kek.jp

Electromagnetic wave is traveling, pushing particles along with it

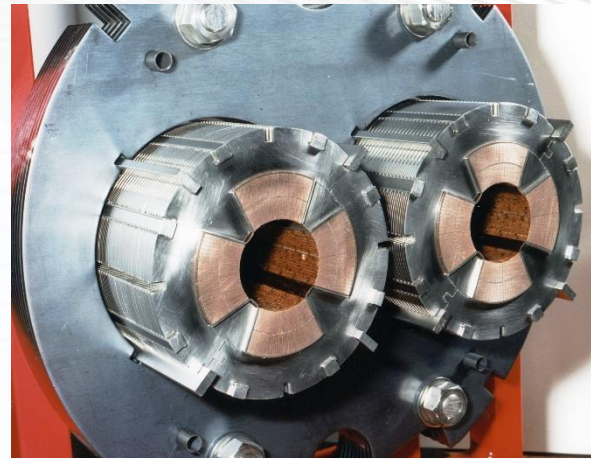


źródło: sciencesprings.wordpress.com

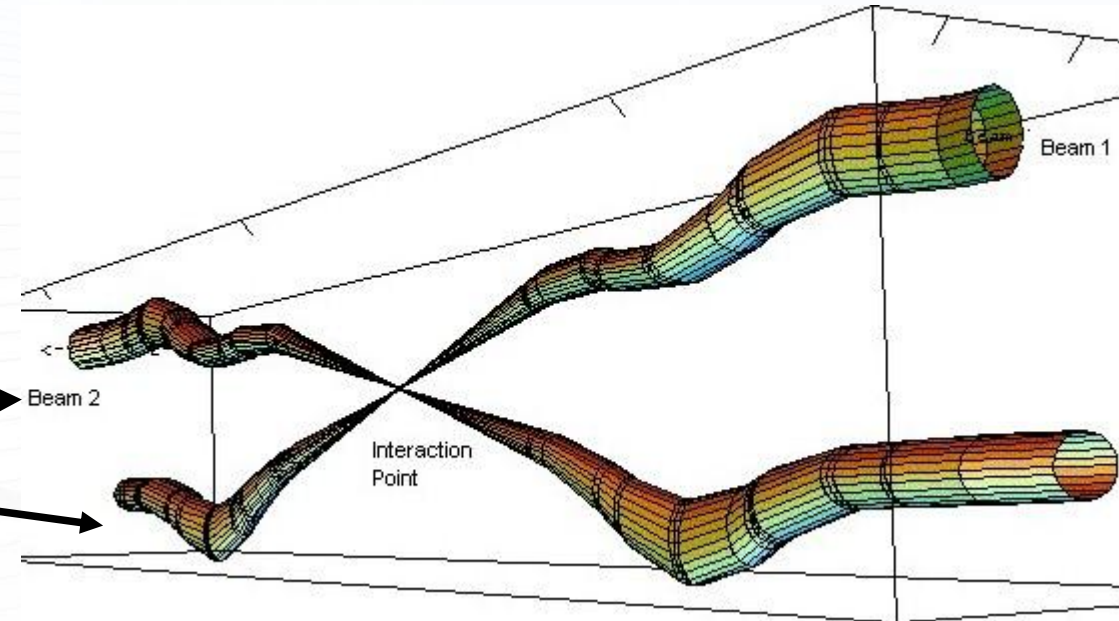


# Gdzie te zderzenia?

kwadrupol

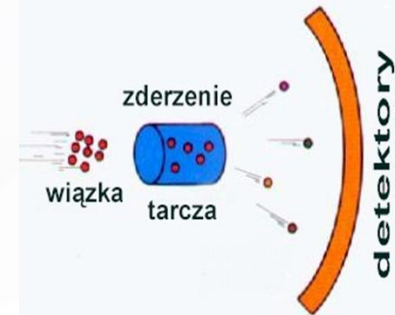


dipol

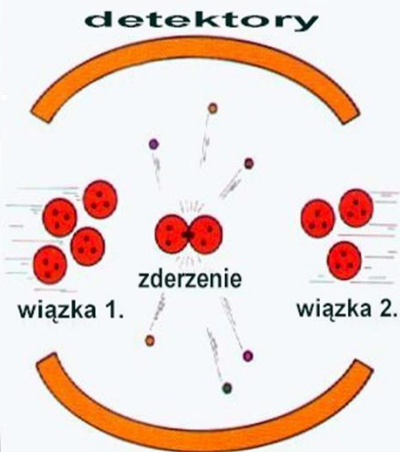


- Magnesy dipolowe (2 bieguny) – zakrzywianie wiązki
- Magnesy kwadrupolowe (4 bieguny) – ogniskowanie wiązki
- **LHC dostarcza zderzenie co 25 ns!**

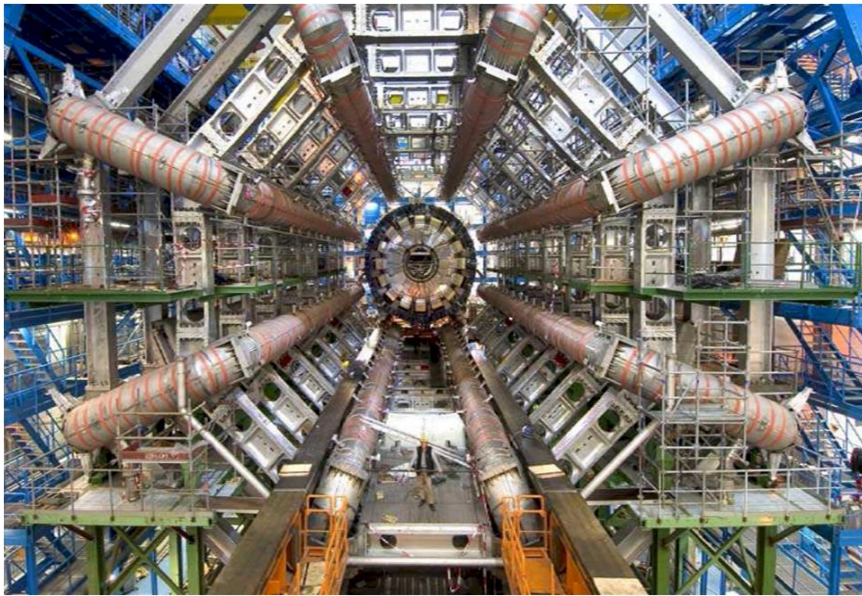
Zderzenia: wiązka-tarcza



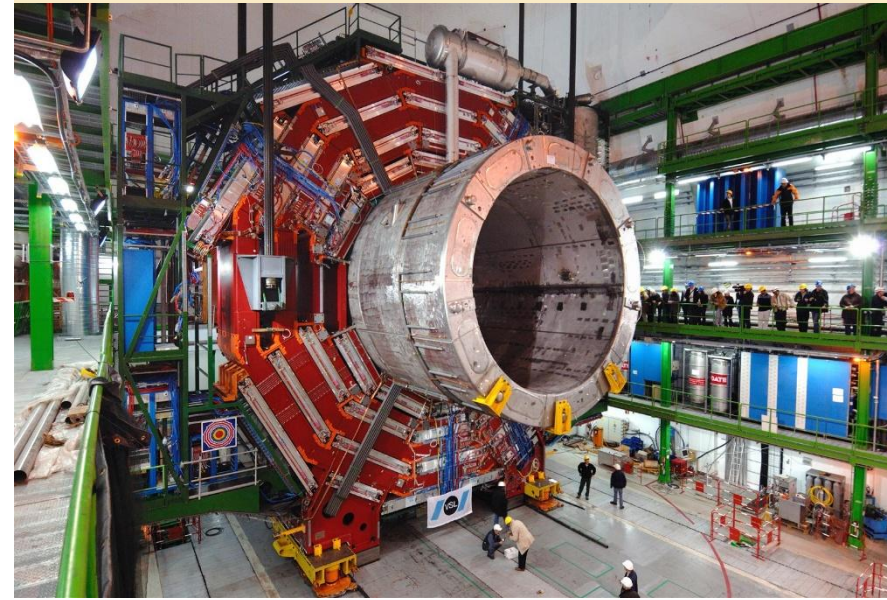
Zderzenia wiązek



CERN – eksperyment ATLAS

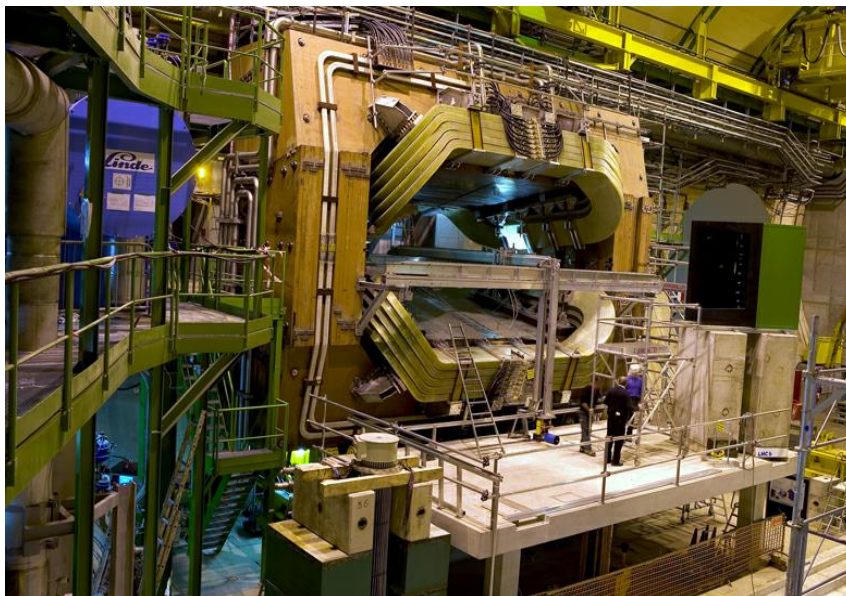


CERN – eksperyment CMS

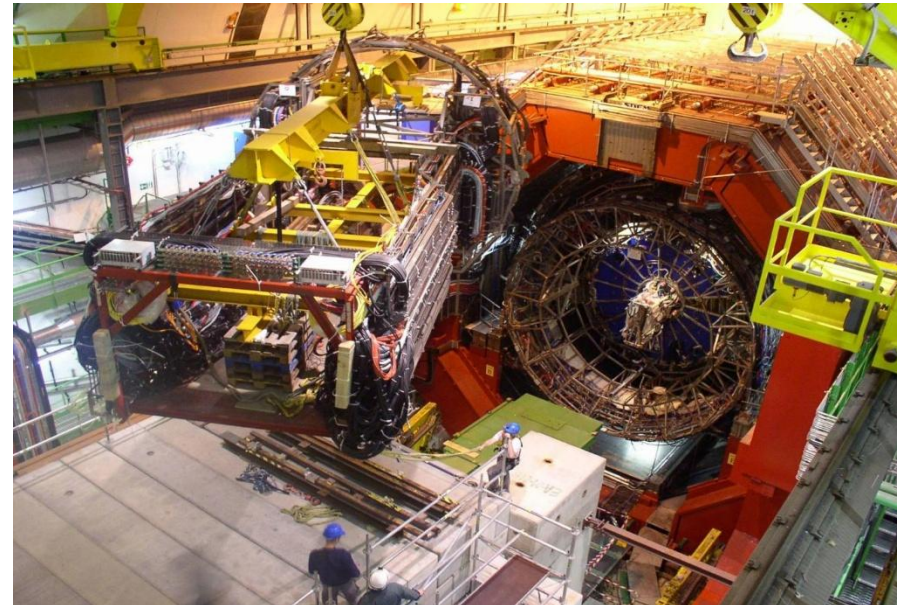


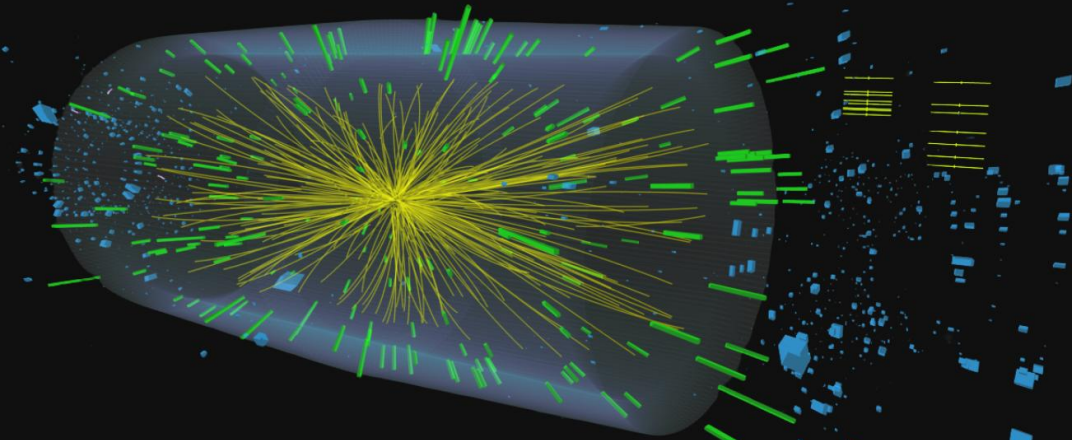
źródło: cern.ch

CERN – eksperyment LHCb



CERN – eksperyment ALICE

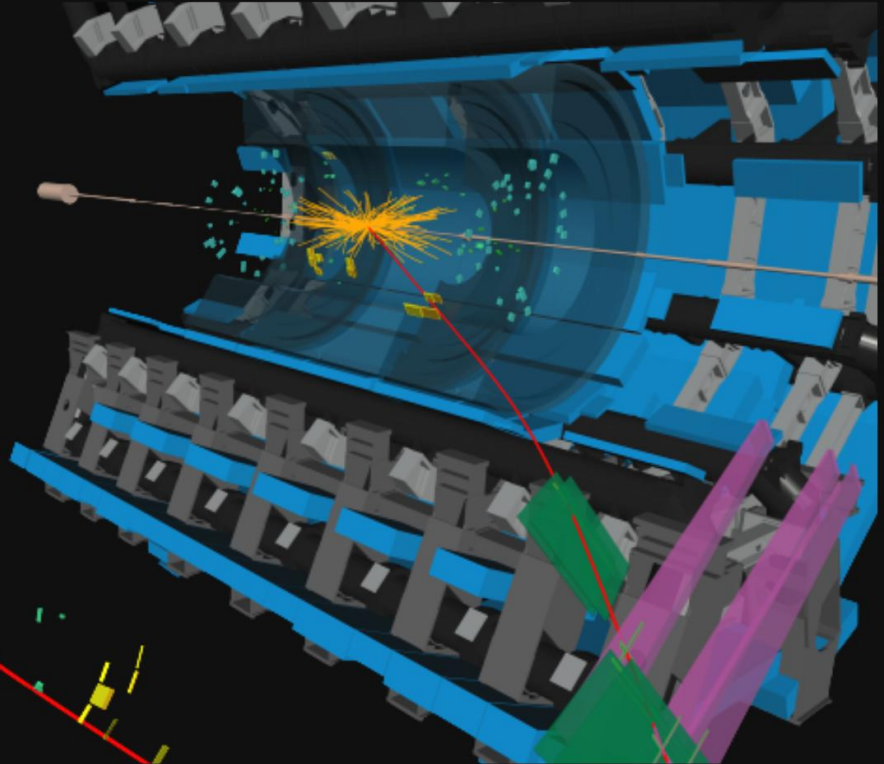




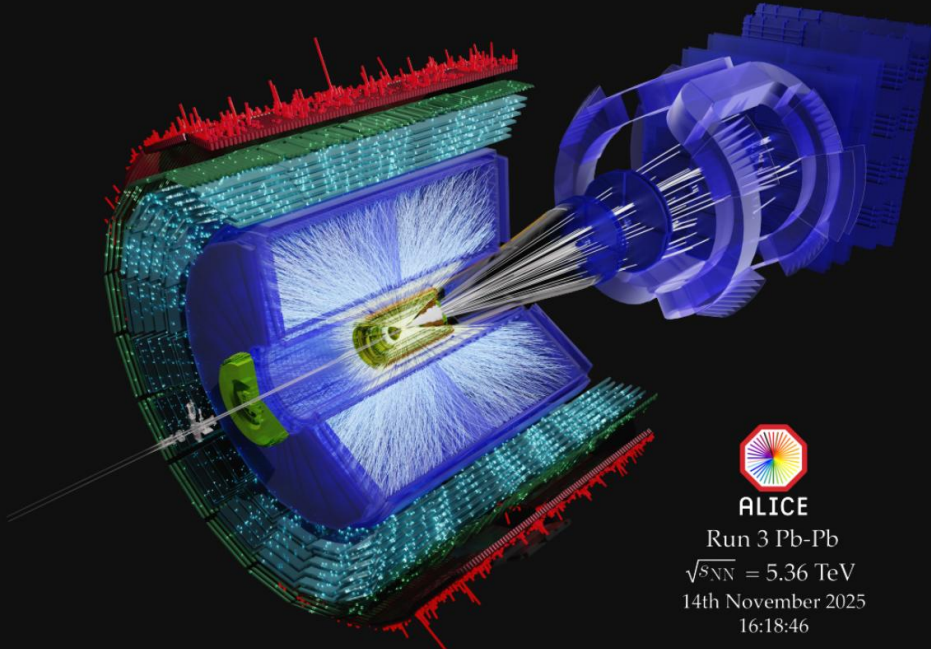
CMS Experiment at the LHC, CERN  
 Data recorded: 2025-May-05 12:29:47.657920 GMT  
 Run / Event / LS: 391658 / 140050821 / 149



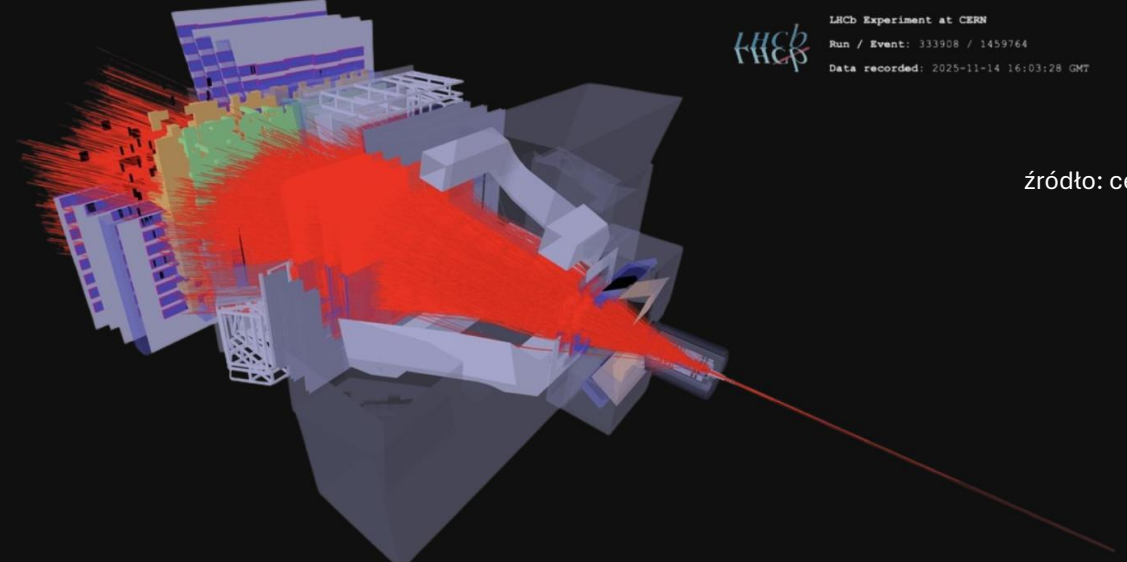
Run: 501607  
 Event: 232097566  
 2025-07-01 06:53:15 CEST



LHCb Experiment at CERN  
 Run / Event: 333908 / 1459764  
 Data recorded: 2025-11-14 16:03:28 GMT

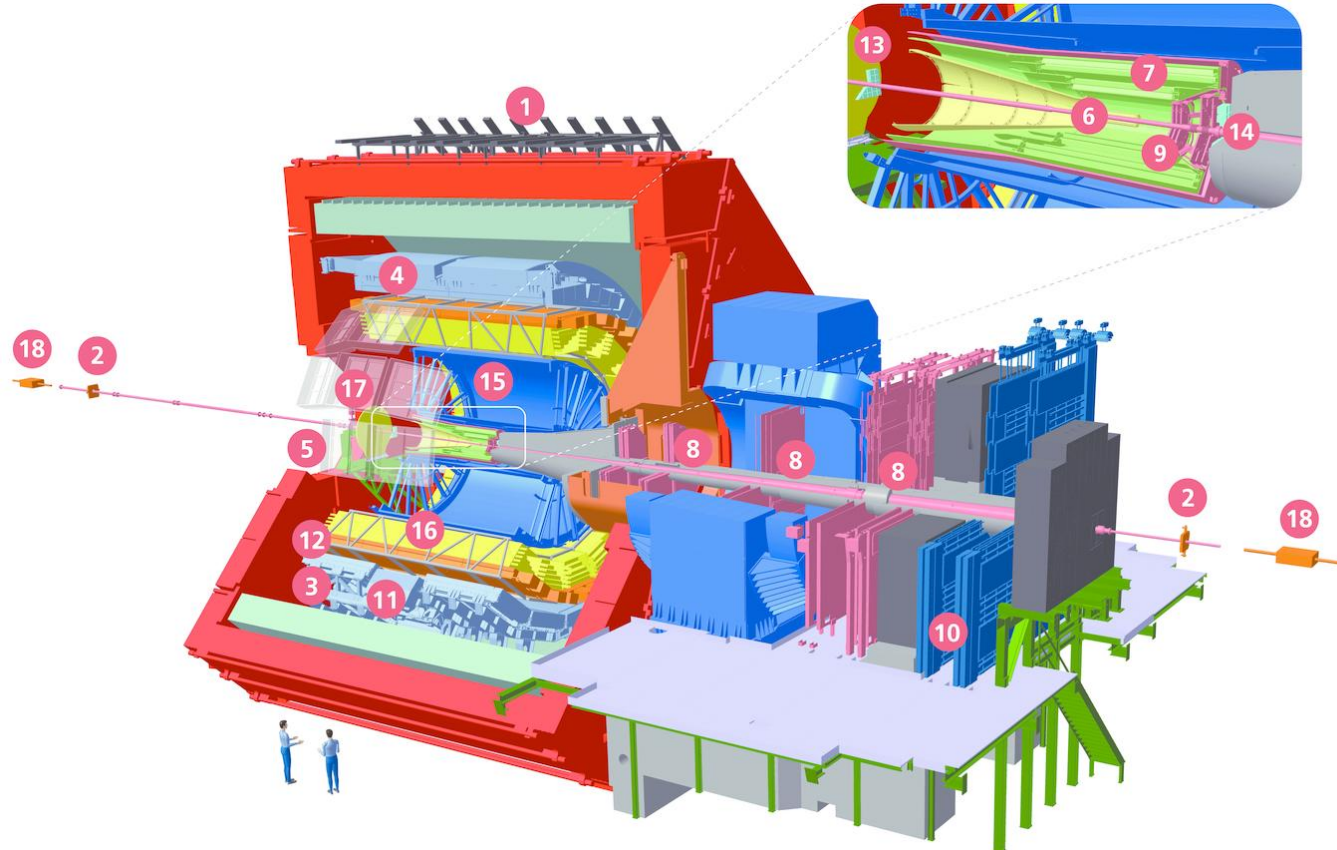
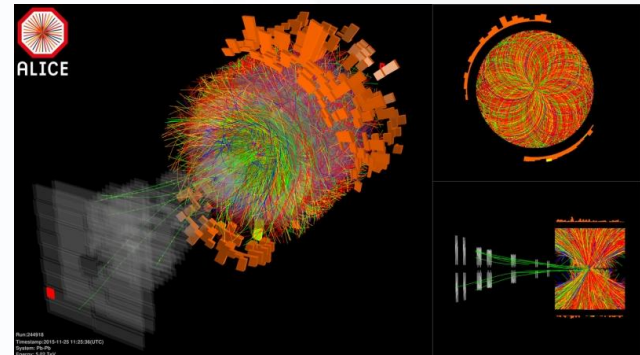


ALICE  
 Run 3 Pb-Pb  
 $\sqrt{s_{NN}} = 5.36$  TeV  
 14th November 2025  
 16:18:46

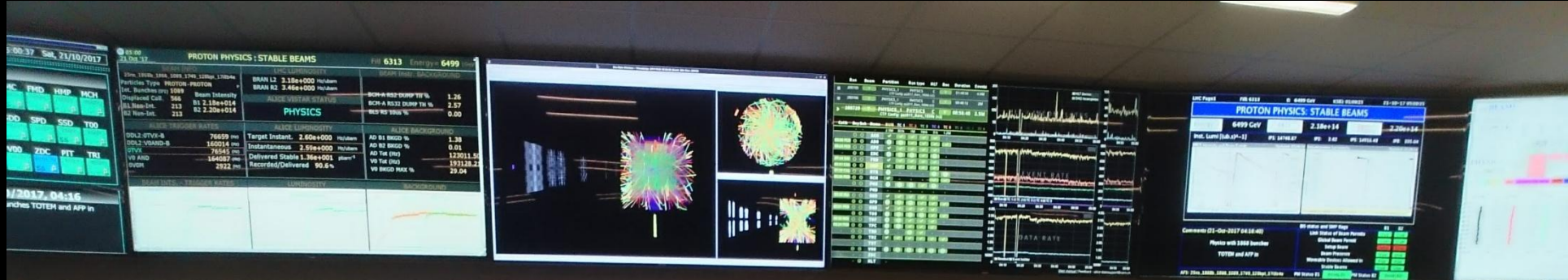


źródło: cern.ch

# Eksperymenty – skomplikowane układy wielu detektorów



- 1 ACORDE | ALICE Cosmic Rays Detector
- 2 AD | ALICE Diffractive Detector
- 3 DCal | Di-jet Calorimeter
- 4 EMCal | Electromagnetic Calorimeter
- 5 HMPID | High Momentum Particle Identification Detector
- 6 ITS-IB | Inner Tracking System - Inner Barrel
- 7 ITS-OB | Inner Tracking System - Outer Barrel
- 8 MCH | Muon Tracking Chambers
- 9 MFT | Muon Forward Tracker
- 10 MID | Muon Identifier
- 11 PHOS / CPV | Photon Spectrometer
- 12 TOF | Time Of Flight
- 13 T0+A | Tzero + A
- 14 T0+C | Tzero + C
- 15 TPC | Time Projection Chamber
- 16 TRD | Transition Radiation Detector
- 17 V0+ | Vzero + Detector
- 18 ZDC | Zero Degree Calorimeter

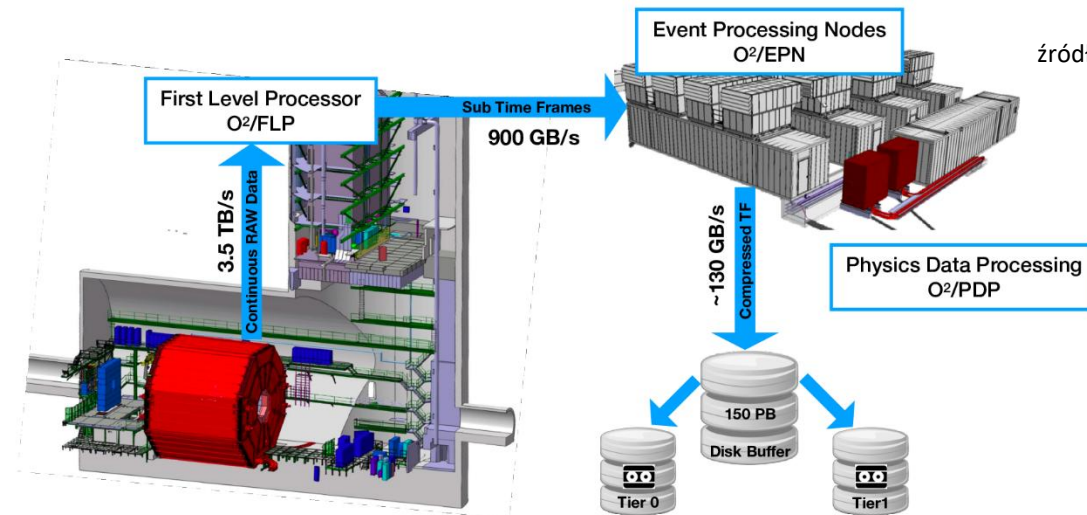


ALICE A Large Ion Collider Experiment



# Big Science => Big Data

- Strumień danych surowych – 3.5 TB/s
- Strumień danych do zapisu – 130 GB/s
- Dane zapisane setki PB
- Rozproszona analiza danych w systemie GRID



```

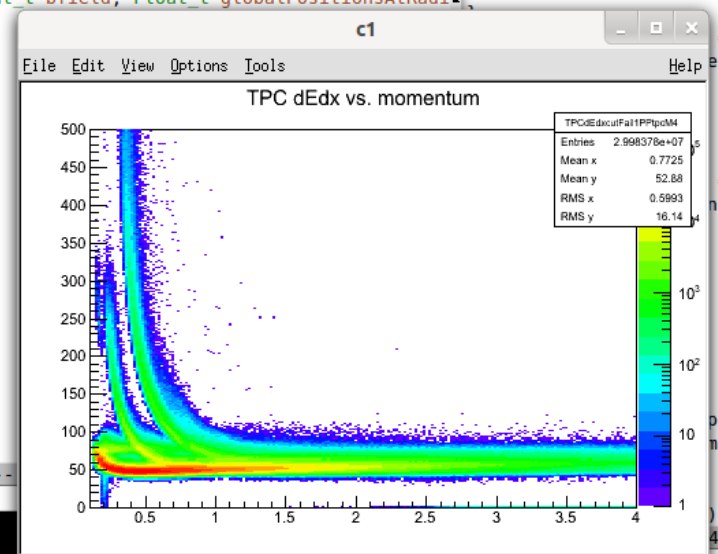
emacslambda
File Edit Options Buffers Tools C Help
AlifemtoESDTrackCut.cxx AlifemtoEventReaderESDChain.h AlifemtoTrack.h AlifemtoEventReaderESDChain.cxx
#include <list>
#include "AliESDpid.h"
class AliFemtoEvent;
class AliFemtoEventReaderESDChain : public AliFemtoEventReader
{
public:
enum TrackType {kGlobal=0, kTPCOnly=1, kITSOnly=2, kSPDTracklet=3};
typedef enum TrackType ReadTrackType;
enum EventMult {kTracklet=0, kITSTPC=1, kITSPure=2, kGlobalCount=3, kSPDLayer1=4, kv0Centrality=5, kReferenceITSSA=7, kReferenceTracklets=8 };
typedef enum EventMult EstEventMult;
AliFemtoEventReaderESDChain();
AliFemtoEventReaderESDChain(const AliFemtoEventReaderESDChain& aReader);
~AliFemtoEventReaderESDChain();
AliFemtoEventReaderESDChain& operator=(const AliFemtoEventReaderESDChain& aReader);
AliFemtoEvent* ReturnHbtEvent();
AliFemtoString Report();
void SetConstrained(const bool constrained);
void SetReadTPCInner(const bool readinner);
void SetUseTPCOnly(const bool usetpconly);
virtual void CopyESDtoFemtoV0(AliESDv0 *tESDv0, AliFemtoV0 *tFemtoV0, AliESDEvent *fESDevent);
void SetReadV0(bool a);
void GetGlobalPositionAtGlobalRadiiThroughTPC(AliESDtrack *track, Float t bfield, Float t globalPositionsAtRadii);
void SetMagneticFieldSign(int s);
void SetUsePhysicsSelection(const bool usephysics);
void SetUseMultiplicity(EstEventMult aType);
void SetEventTrigger(UInt_t eventtrig); //trigger
bool GetConstrained() const;
bool GetReadTPCInner() const;
bool GetUseTPCOnly() const;
void SetReadTrackType(ReadTrackType aType);
void SetESDSource(AliESDEvent *aESD);
// void SetESDfriendSource(AliESDfriend *aFriend);
void SetESDPid(AliESDpid *esdPid) { fESDpid = esdPid; }
protected:
private:
AliFemtoEventReaderESDChain.h 25% L49 SVN-58019 (C/l Abbrev)

```

```

wfpw@lambda: /opt/alice/workdir/DEtaDPHI/
Plik Edycja Widok Wyszukiwanie Terminal Karty Pomoc
wfpw@lambda: /opt/alice/workdir/TestConfig/pp_A... x wfpw@lambda: /c
KEY: TH2D TPCdEdxcutPass5PIpPImtpcM2;1 TPC dEdx vs. momen
KEY: TH2D TPCdEdxcutFail5PIpPImtpcM2;1 TPC dEdx vs. momen
KEY: TH2D TPCdEdxcutPass6PIpPImtpcM2;1 TPC dEdx vs. momen
KEY: TH2D TPCdEdxcutFail6PIpPImtpcM2;1 TPC dEdx vs. momen
KEY: TH2D TPCdEdxcutPass1PPtpcM4;1 TPC dEdx vs. momen
KEY: TH2D TPCdEdxcutFail1PPtpcM4;1 TPC dEdx vs. momen
KEY: TH2D TPCdEdxcutPass2aPaPtpcM4;1 TPC dEdx vs. momen
KEY: TH2D TPCdEdxcutFail2aPaPtpcM4;1 TPC dEdx vs. momen
KEY: TH2D TPCdEdxcutPass1PaPtpcM4;1 TPC dEdx vs. momen
KEY: TH2D TPCdEdxcutFail1PaPtpcM4;1 TPC dEdx vs. momen
KEY: TH2D TPCdEdxcutPass2PaPtpcM4;1 TPC dEdx vs. momen
KEY: TH2D TPCdEdxcutFail2PaPtpcM4;1 TPC dEdx vs. momen
KEY: TH2D TPCdEdxcutPass3KpKtpcM4;1 TPC dEdx vs. momen
KEY: TH2D TPCdEdxcutFail3KpKtpcM4;1 TPC dEdx vs. momen
KEY: TH2D TPCdEdxcutPass4KmKmtpcM4;1 TPC dEdx vs. momen
KEY: TH2D TPCdEdxcutFail4KmKmtpcM4;1 TPC dEdx vs. momen
KEY: TH2D TPCdEdxcutPass3KpKmtpcM4;1 TPC dEdx vs. momen
KEY: TH2D TPCdEdxcutFail3KpKmtpcM4;1 TPC dEdx vs. momen
KEY: TH2D TPCdEdxcutPass4KpKmtpcM4;1 TPC dEdx vs. momen
KEY: TH2D TPCdEdxcutFail4KpKmtpcM4;1 TPC dEdx vs. momen
KEY: TH2D TPCdEdxcutPass5PIpPIptpcM4;1 TPC dEdx vs. momen
KEY: TH2D TPCdEdxcutFail5PIpPIptpcM4;1 TPC dEdx vs. momen
KEY: TH2D TPCdEdxcutPass5PIpPImtpcM4;1 TPC dEdx vs. momen
KEY: TH2D TPCdEdxcutFail5PIpPImtpcM4;1 TPC dEdx vs. momen
KEY: TH2D TPCdEdxcutPass6PIpPImtpcM4;1 TPC dEdx vs. momen
KEY: TH2D TPCdEdxcutFail6PIpPImtpcM4;1 TPC dEdx vs. momen
root [19] TPCdEdxcutFail1PPtpcM4->Draw("colz")
root [20]

```



```

== 3) { // Looking for kaons
erP, track->NSigmaTPCK(), track->NSi
== 4) { // proton nsigma-PID requir
nerP, track->NSigmaTPCP(), track->N
p++)
max) { ipidmax = tMost[ip]; imost =
) {
4% L338 SVN:59058 (C++/l Abbrev)

```

Vague but exciting ...

CERN DD/OC

Tim Berners-Lee, CERN/DD

Information Management: A Proposal

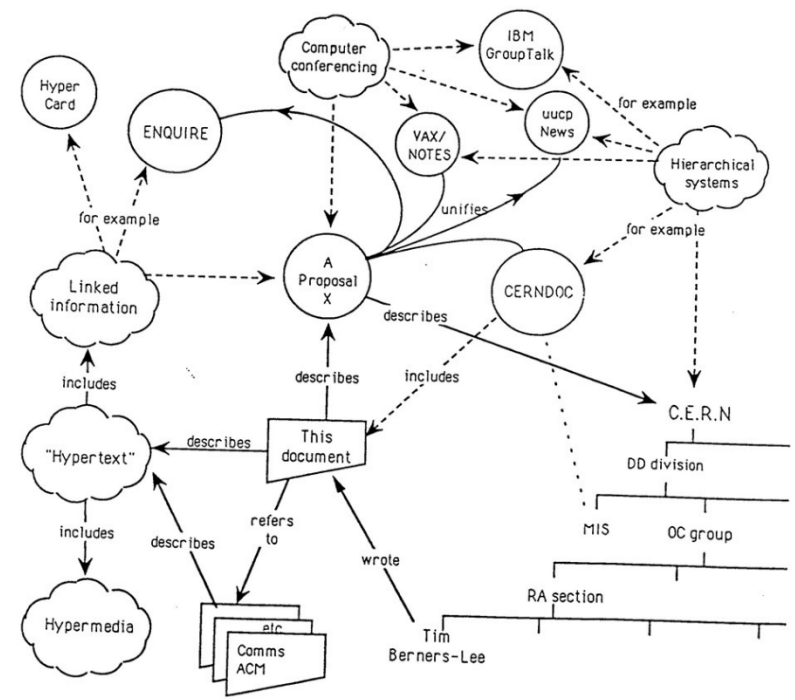
March 1989

### Information Management: A Proposal

#### Abstract

This proposal concerns the management of general information about accelerators and experiments at CERN. It discusses the problems of loss of information about complex evolving systems and derives a solution based on a distributed hypertext system.

Keywords: Hypertext, Computer conferencing, Document retrieval, Information management, Project control



# 27 lat temu ...

źródło: cern.ch

Tim Berners-Lee pisze słynny dokument, który stał się **początkiem WWW**

W jego pierwszych akapitach pisze:

“Many of the discussions of the future at CERN **and the LHC era** end with the question -  
“Yes, but how will we ever keep track of such a large project?” This proposal provides an answer to such questions. Firstly, it discusses the problem of information access at CERN. Then, it introduces the idea of linked information systems, and compares them with less flexible ways of finding information.”

## Bez CERN i LHC nie mielibyśmy WWW Przykład jednego z wielu zastosowań technologii

# Dziękuję za uwagę!

[lukasz.graczykowski@pw.edu.pl](mailto:lukasz.graczykowski@pw.edu.pl)  
[lgraczyk@cern.ch](mailto:lgraczyk@cern.ch)



Wydział Kształcenia Ogólnego  
i Kompetencji Cyfrowych



[www.ore.edu.pl](http://www.ore.edu.pl)