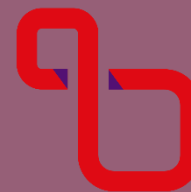




**Wydział
Fizyki**

POLITECHNIKA WARSZAWSKA



**UCZELNIA
BADAWCZA**
INICJATYWA DOSKONAŁOŚCI



Podróż do początków Wszechświata czyli czym zajmujemy się w laboratorium



dr hab. inż. Łukasz Graczykowski







Mglawica Orzeł
Filary stworzenia

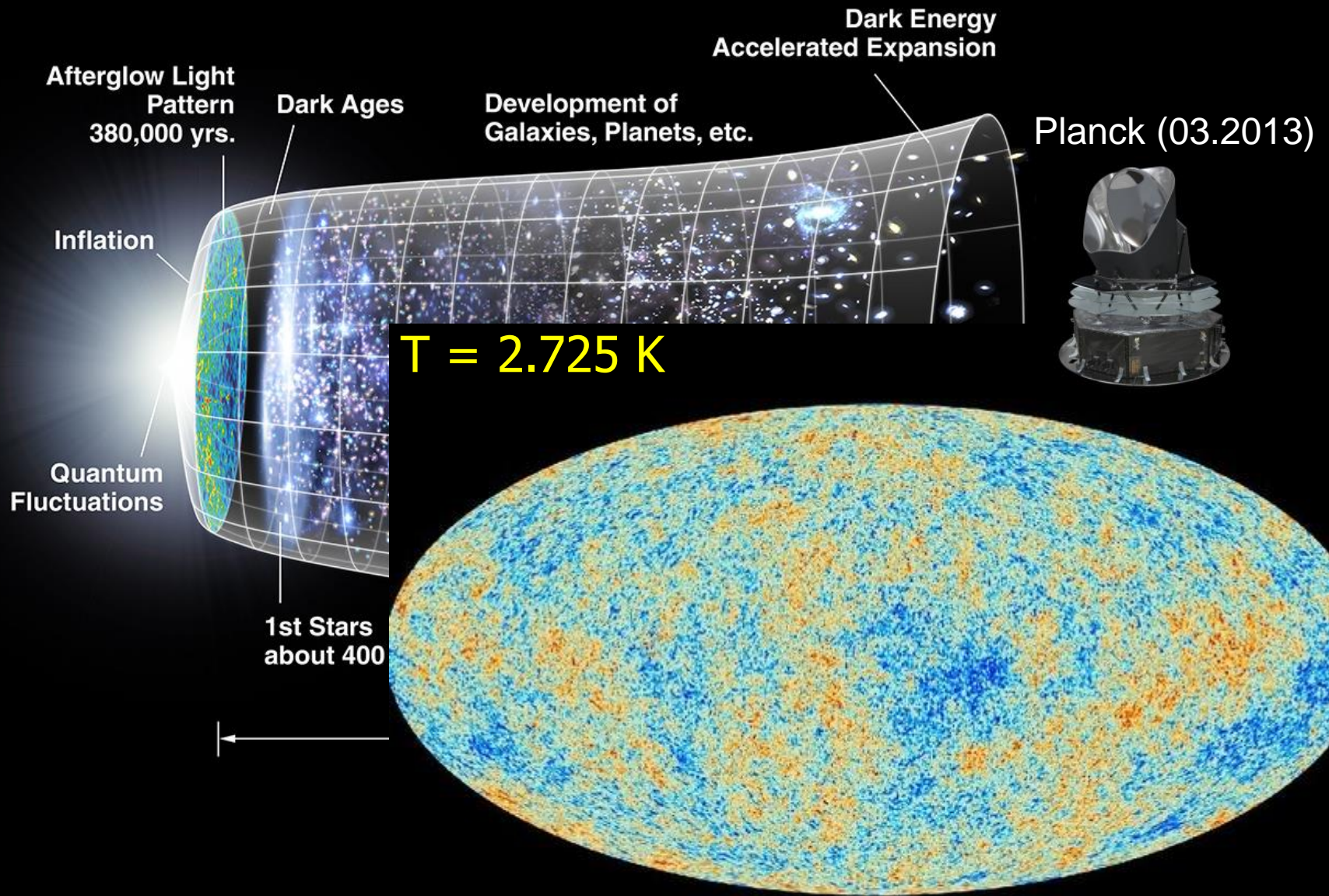
Teleskop Kosmiczny Hubble'a

Jak sięgnąć do początków?

Teleskop Kosmiczny Hubble'a
Obraz Głębokiego Kosmosu



Granica poznania: promieniowanie tła



?

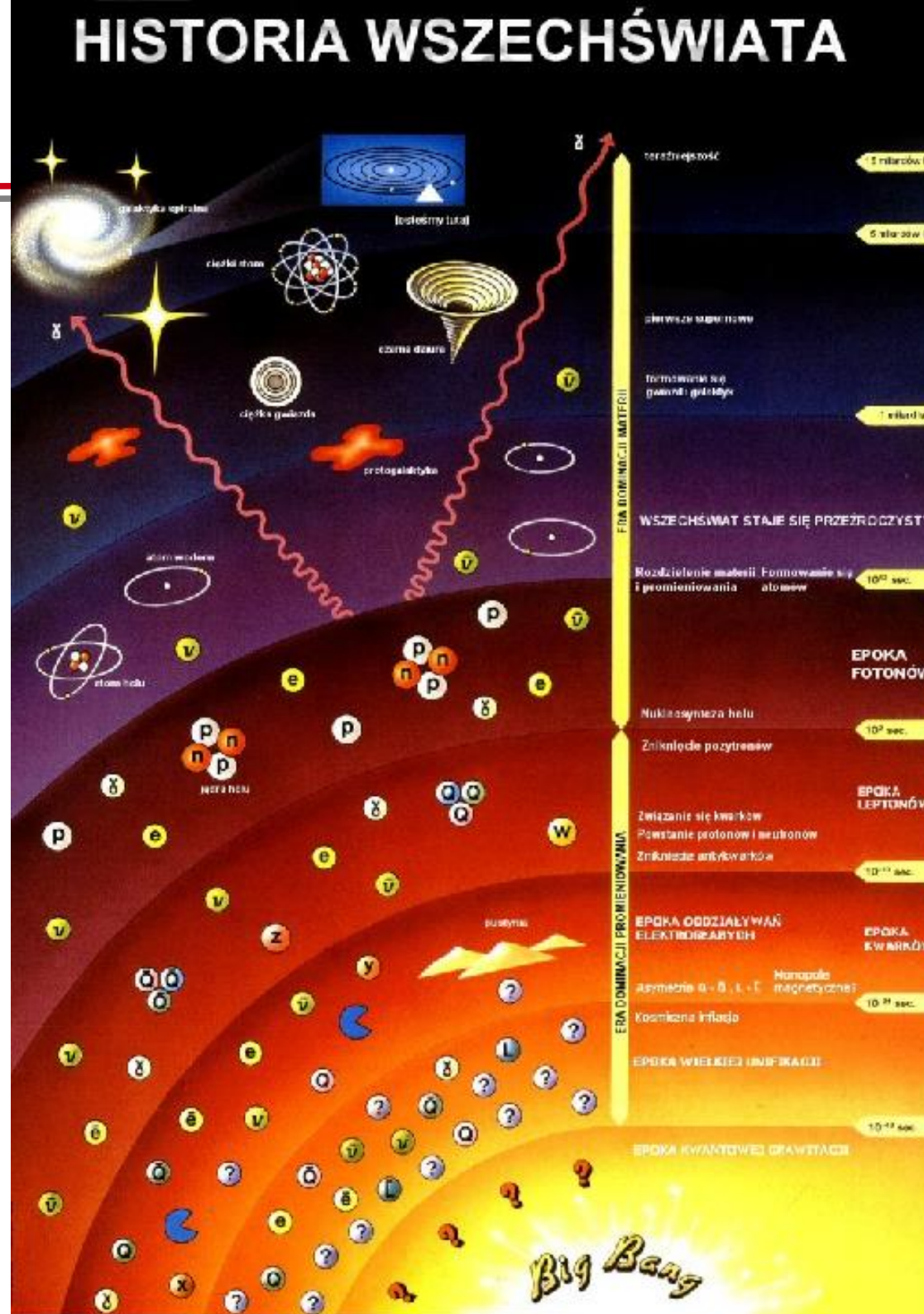
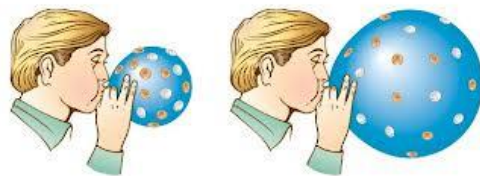
Ale co było wcześniej?
Jak to sprawdzić?

WMAP / Planck – 380 tys. lat po Wielkim Wybuchu

Model Wielkiego Wybuchu

TEMPERATURA, GĘSTOŚĆ

ROZMIAR, KOMPLIKACJA

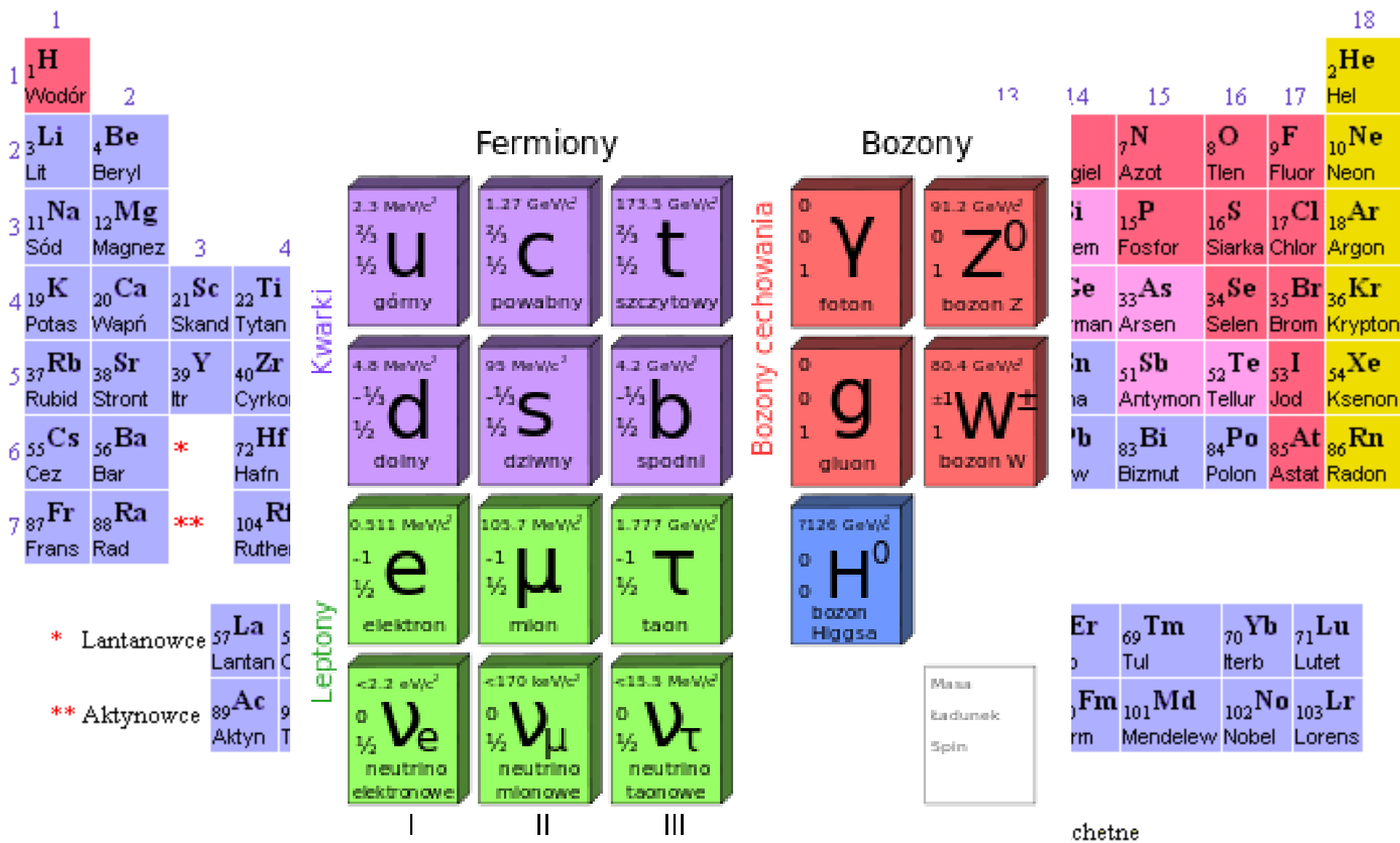


Jak zbadać coś czego nie
możemy zobaczyć?



Zacznijmy od podstaw...

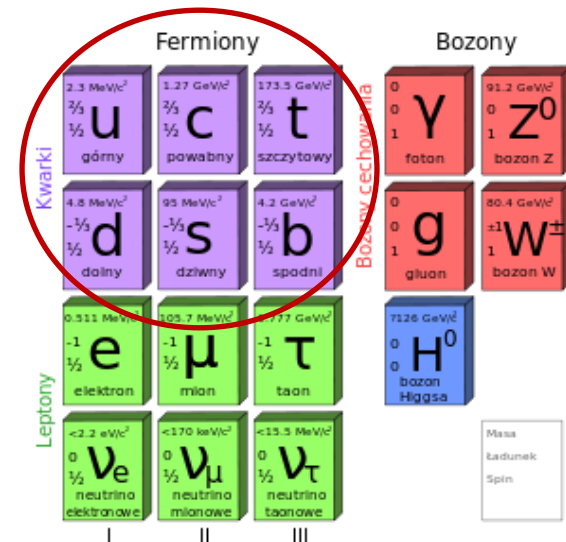
„Układ okresowy”



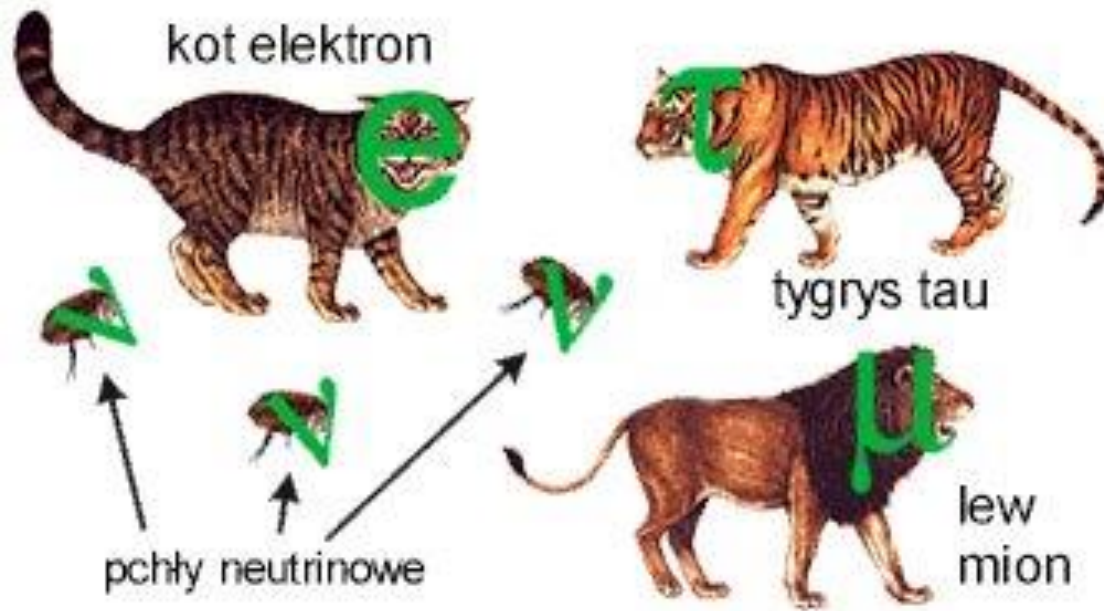
Model Standardowy



Kwarki



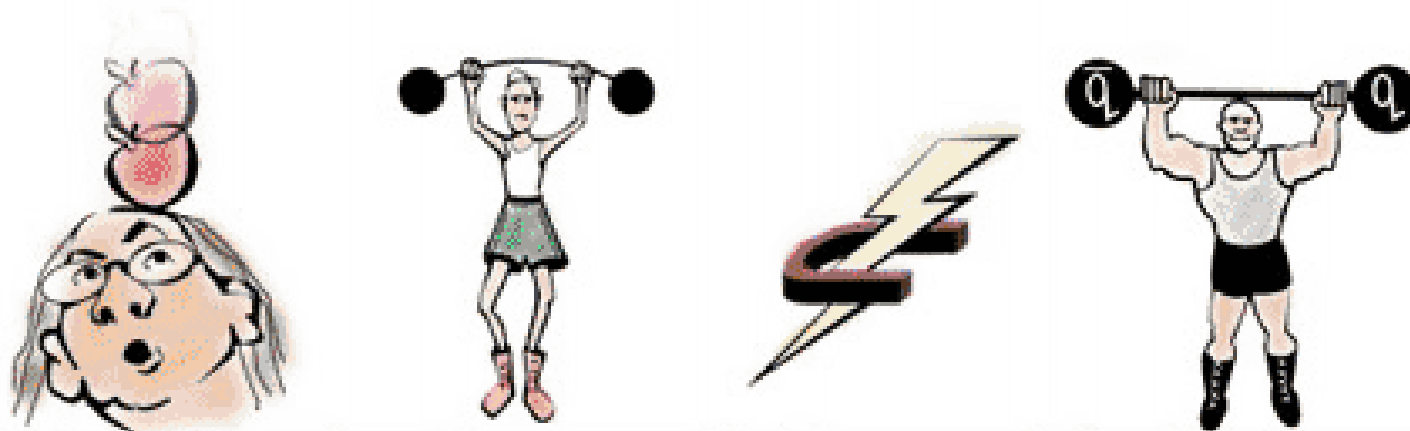
Model Standardowy



Leptony

		Fermiony			Bozony	
Kwarki	2.3 MeV/c ² $\frac{2}{3}$ u górnny	1.27 GeV/c ² $\frac{2}{3}$ c powabny	173.3 GeV/c ² $\frac{2}{3}$ t szczytowy	0 0 1 Y foton	91.2 GeV/c ² 0 1 Z ⁰ bozon Z	
	4.8 MeV/c ² $-\frac{1}{3}$ d dolny	95 MeV/c ² $-\frac{1}{3}$ s dziwny	4.2 GeV/c ² $-\frac{1}{3}$ b spodni	0 0 1 g gluon	80.4 GeV/c ² ± 1 1 W [±] bozon W	
	0.511 MeV/c ² $-\frac{1}{2}$ e elektron	105.7 MeV/c ² $\frac{1}{2}$ μ mion	1.777 GeV/c ² $-\frac{1}{2}$ τ taon	7126 GeV/c ² 0 0 H ⁰ bozon Higgsa		
Leptony	<2.3 eV/c ² 0 $\frac{1}{2}$ ν _e neutrino elektronowe	<170 keV/c ² 0 $\frac{1}{2}$ ν _μ neutrino mionowe	<13.5 MeV/c ² 0 $\frac{1}{2}$ ν _τ neutrino taonowe			
					Masa Ładunek Spin	

Oddziaływania



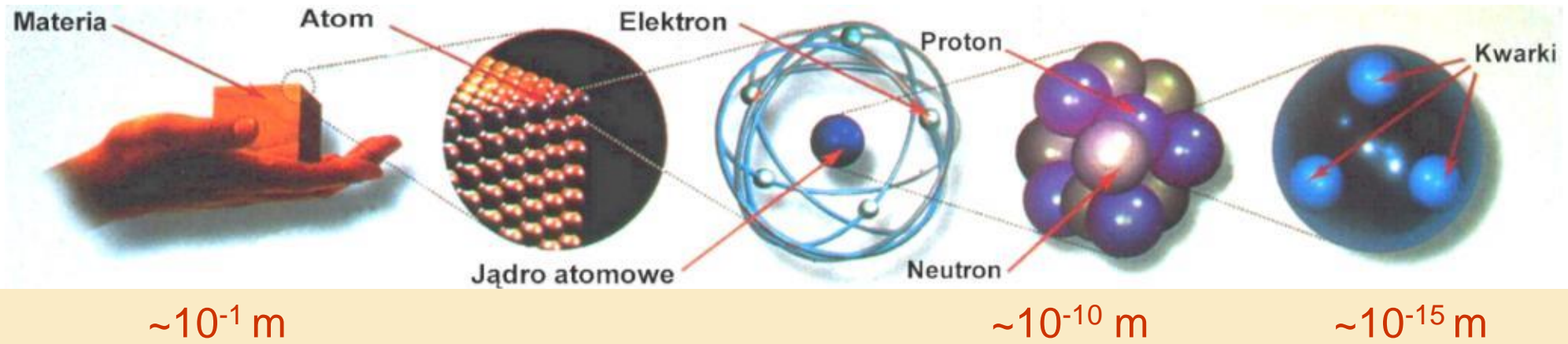
Oddziaływanie	grawitacyjne	slabe elektrosłabe	elektromagnetyczne	silne
Przenoszone przez	grawiton	$W^+ W^- Z^0$	foton	gluon
Działa na	wszystko	kwarki i leptony	kwarki, naładowane leptony i W^+, W^-	kwarki i gluony

- **Model Standardowy** zawiera 3 z 4 oddziaływań (bez grawitacji)
- Grawitacja jest najslabszą siłą w mikroświecie (jest pomijalnie mała)
- Oddziaływania silne zachowują się inaczej (rosną z odległością)

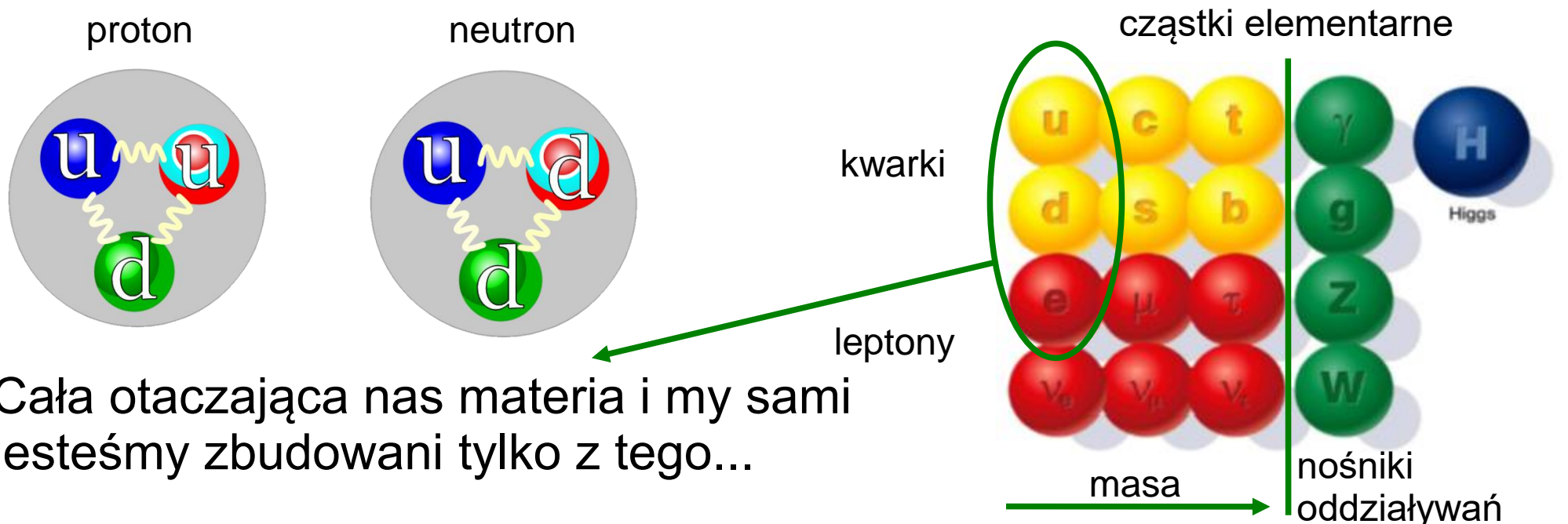
Fermiony			Bozony		
Kwarki	2.3 MeV/c ² $\frac{2}{3}$ u górnny	1.27 GeV/c ² $\frac{2}{3}$ c powabny	173.5 GeV/c ² $\frac{2}{3}$ t szczytowy	0 0 1 1 Y foton	91.2 GeV/c ² 0 1 1 Z ⁰ bozon Z
	4.8 MeV/c ² $-\frac{1}{3}$ d dolny	95 MeV/c ² $-\frac{1}{3}$ s dziwny	4.2 GeV/c ² $-\frac{1}{3}$ b spodni	0 1 1 g gluon	80.4 GeV/c ² +1 1 W [±] bozon W
	0.511 MeV/c ² -1 e elektron	105.7 MeV/c ² $\frac{1}{2}$ μ mion	1.777 GeV/c ² -1 τ taon	125 GeV/c ² 0 0 H bozon Higgsa	
Leptony	<2.2 eV/c ² $\frac{1}{2}$ ν _e neutrino elektronowe	<170 keV/c ² $\frac{1}{2}$ ν _μ neutrino mionowe	<13.5 MeV/c ² $\frac{1}{2}$ ν _τ neutrino taonowe		
	I	II	III		

Legenda: Masa, Ładunek, Spin

Kwarki i gluony

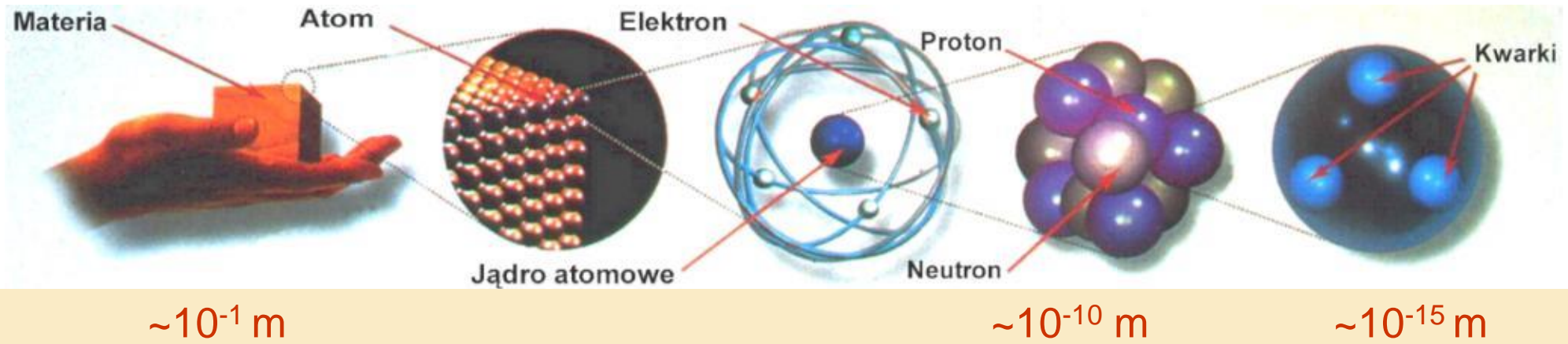


- Kwarki są ściśle związane poprzez gluony – tworząc składniki jądra atomowego: protony i neutrony
- Nie udało się zaobserwować swobodnego kwarku

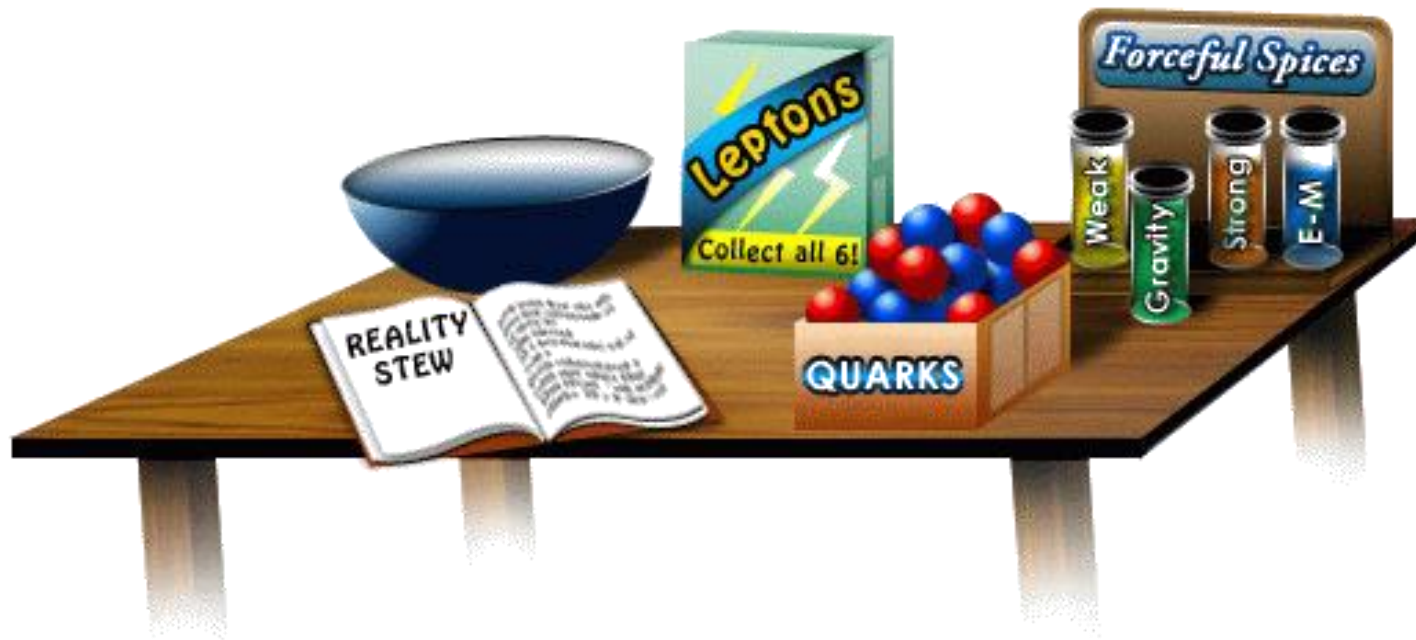


Cała otaczająca nas materia i my sami jesteśmy zbudowani tylko z tego...

Kwarki i gluony



- Kwarki są ściśle związane poprzez gluony – tworząc składniki jądra atomowego: protony i neutrony
- Nie udało się zaobserwować swobodnego kwarku



Kwarki i gluony



$$\mathcal{L} = \frac{1}{4g^2} G_{\mu\nu}^a G_{\mu\nu}^a + \sum_j \bar{q}_j (i\gamma^\mu D_\mu + m_j) q_j$$

$$\text{where } G_{\mu\nu}^a \equiv \partial_\mu A_\nu^a - \partial_\nu A_\mu^a + if_{bc}^a A_\mu^b A_\nu^c$$

$$\text{and } D_\mu \equiv \partial_\mu + it^a A_\mu^a$$

That's it!

Czy można uwolnić kwarki?

Para kwark-antykwar (mezon)



Próbujemy je rozdzielić (dodajemy energię)



$E=mc^2!$



Dostajemy dwa mezony

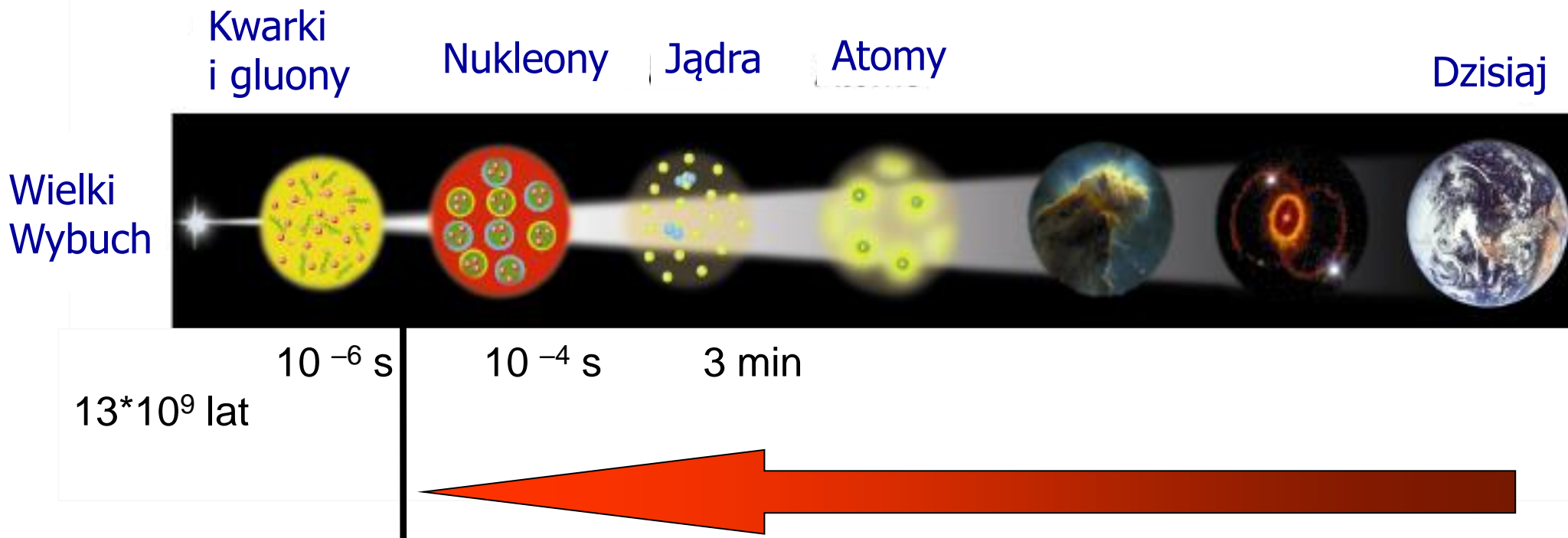


Ale... czy historia Wszechświata i zagłębienie coraz głębiej w strukturę materii nie wydają się w zasadzie podobne?



Zróbmy zatem porównanie...

Wszechświat



Budowa materii

- Problem: wspomnieliśmy, że nie zaobserwowano obecnie wolnego kwarku i nie można go otrzymać...
- Pytanie: Czy potrzebujemy izolować pojedynczy kwark? Może lepiej uwolnić wszystkie na raz! Czy to możliwe?



Pytanie: Czy potrzebujemy izolować pojedynczy kwark? Może lepiej uwolnić wszystkie na raz! Czy to możliwe?

Czy nie lepiej wytworzyć takie warunki, w których kwarki będą swobodne, „jak ryby w wodzie” ?

Przecież, aby badać zwyczaje ryb, nie należy ich wyciągać z wody !!!

Jak badać zwyczaje ryb?

**Czy
tak?**

Nie!



Jak badać zwyczaje ryb?

Lepiej samemu zanurkować !!!

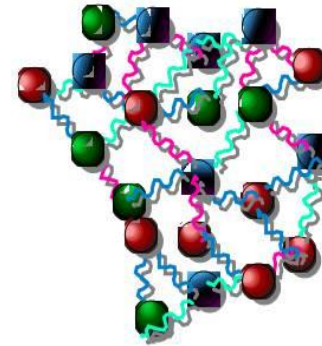
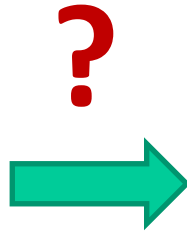
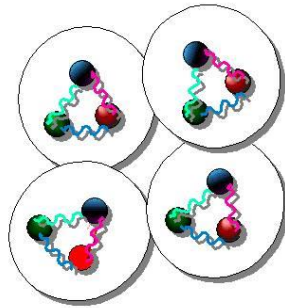
Co widzimy?

Ruch
kolektywny

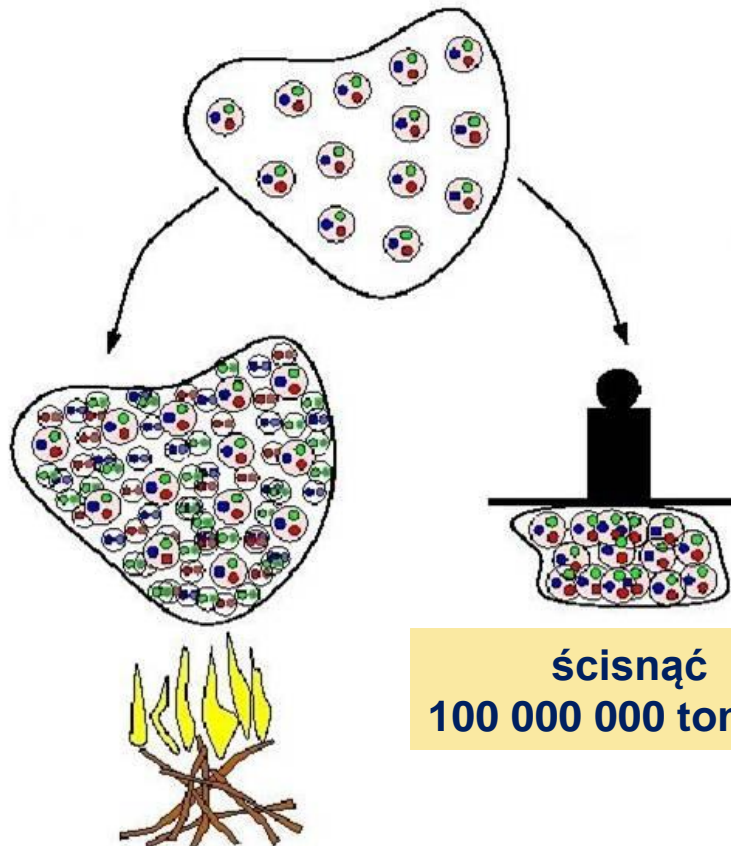


Jak uwolnić kwarki?

Materia hadronowa:
kwarki
uwięzione w
protonach i
neutronach



Materia kwarkowa:
kwarki są
swobodne i
mogą się
przemieszczać



ścisnąć
100 000 000 ton/cm³

podgrzać: 1 000 000 000 000 °C



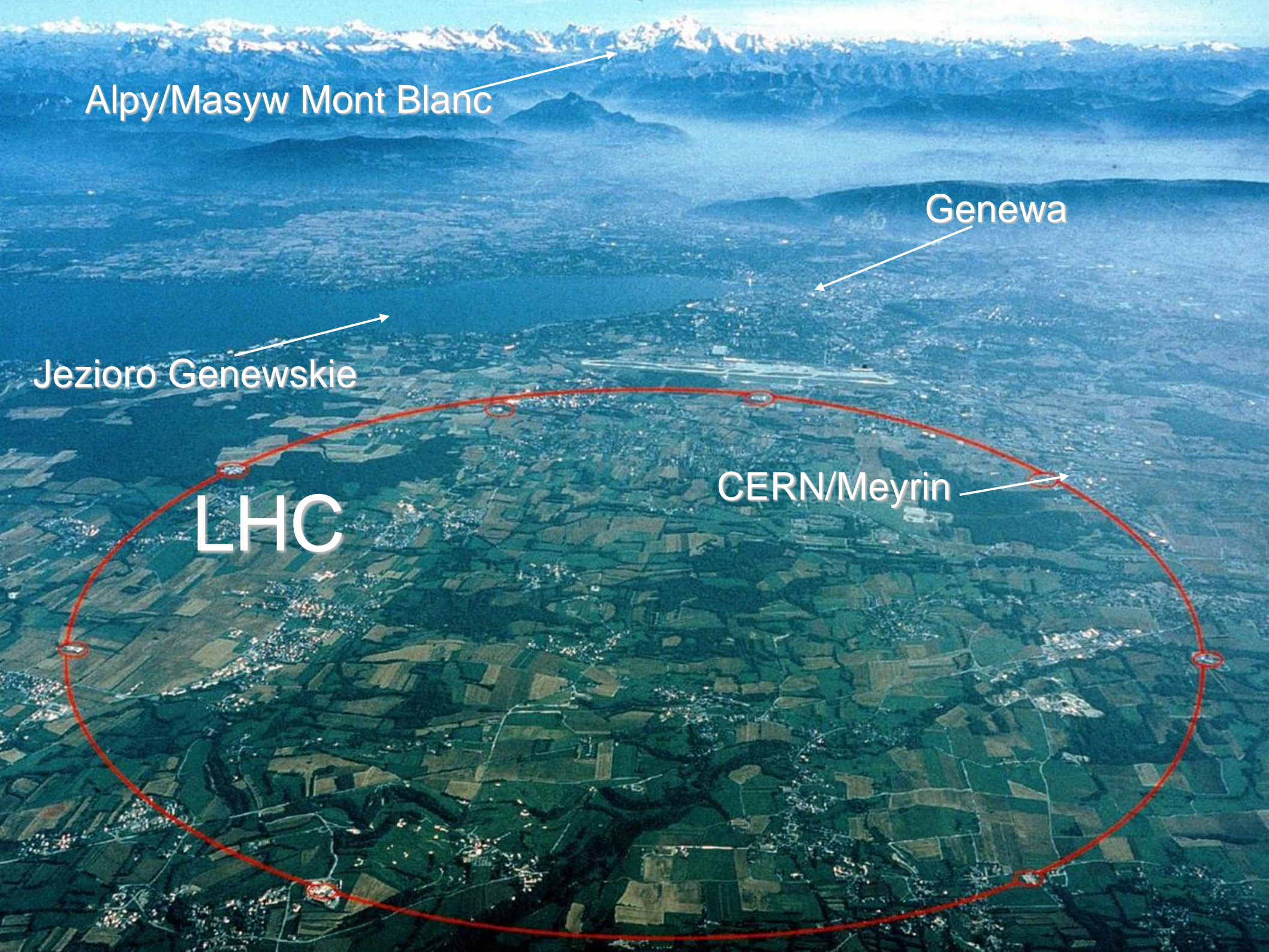
Alpy/Masyw Mont Blanc

Genewa

Jezioro Genewskie

LHC

CERN/Meyrin



Czym jest CERN?

CERN – European Organization for Nuclear Research
(fr.) Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire
oryginalnie (fr.) – Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire

Słowo “nuclear” (jądrowy) obecnie ma wymiar historyczny:

- gdy zakładano CERN wyzwaniem było zrozumienie wnętrza atomu – jądra atomowego
- dzisiaj zaglądamy głębiej – cząstki elementarne, znacznie wyższe energie

CERN powstał w 1954 r.
(12 państw założycieli)

Polska przystąpiła do CERN
w 1991 r. (dec. L. Wałęsa)

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 Protokołem Finansowym, w imieniu Rzeczypospolitej Polskiej oświadczam, że:

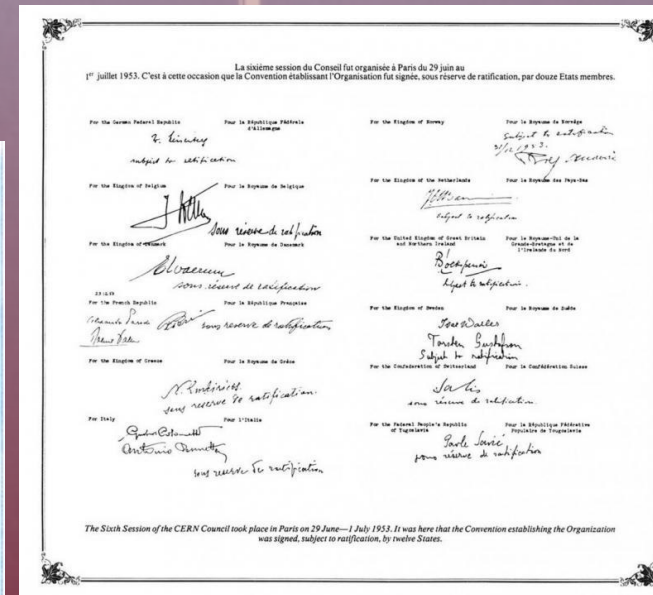
- zostały one uznane za słuszne zarówno w całości jak i każde z postanowień w nich zawartych,
- Rzeczpospolita Polska postanowiła przystąpić do powyższej Konwencji i Protokołu Finansowego,
- Będą one niezmiennie zachowywane.

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

Dano w Warszawie, dnia 13 maja 1991 roku

PREZYDENT
RZECZYPOSPOLITEJ POLSKIEJ

Lech Wałęsa

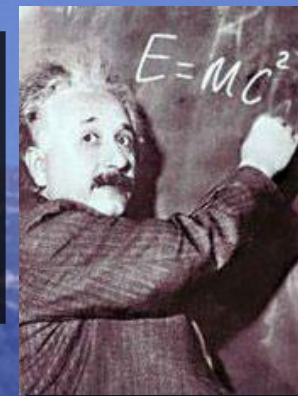
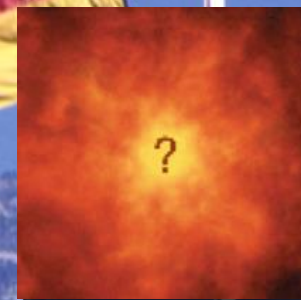




Misja CERN

Przekraczanie granic nauki

np. tajemnice Wielkiego Wybuchu – jaki był nasz Wszechświat w pierwszych chwilach swojego istnienia?

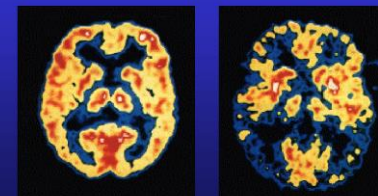


Rozwój technologii akceleratorowych i detektorowych

technologie informacyjne – World Wide Web, GRID
medycyna – diagnostyka i leczenie (np. PET)



Brain Metabolism in Alzheimer's Disease: PET Scan



Szkolenie nowych pokoleń naukowców i inżynierów



Jednoczenie ludzi z różnych krajów i kultur



CERN w liczbach

~2600 pracowników naukowych
~1800 pozostałych pracowników
~1400 użytkowników
Budżet (2019): ~1200 MCHF

Member States of CERN

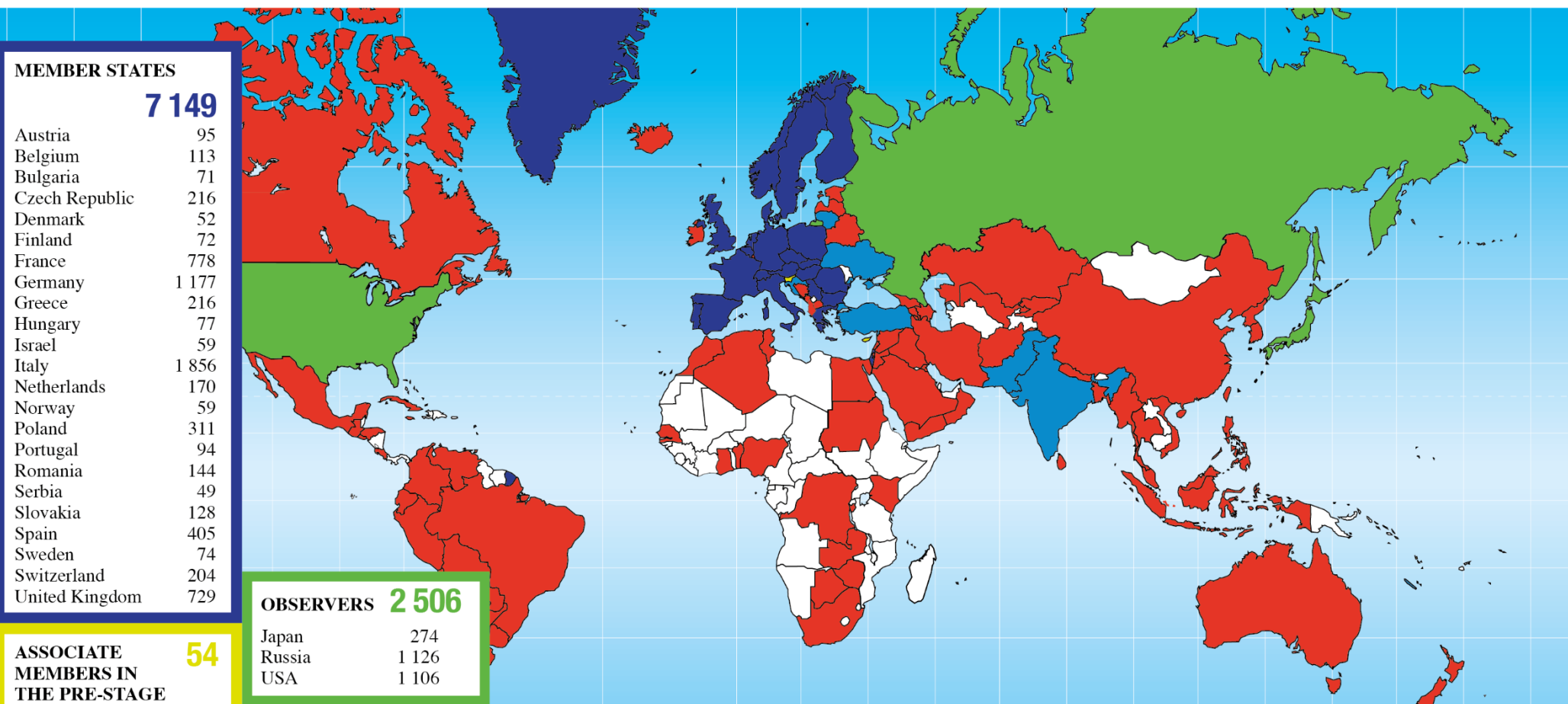
Member States (date of accession)

 Austria (1959)	 Sweden (1953)	
 Belgium (1953)	 Switzerland (1953)	
 Bulgaria (1999)	 United Kingdom (1953)	
 Czech Republic (1993)	States in accession to Membership and Associate Members	
 Denmark (1953)	 Croatia (2019)	
 Finland (1991)	 Cyprus (2016)	
 France (1953)	 India (2017)	
 Germany (1953)	 Lithuania (2018)	
 Greece (1953)	 Pakistan (2015)	
 Hungary (1992)	 Slovenia (2017)	
 Israel (2014)	 Turkey (2015)	
 Italy (1953)	 Ukraine (2016)	
 Netherlands (1953)		
 Norway (1953)		
 Poland (1991)		
 Portugal (1986)		
 Romania (2016)		
 Serbia (2019)		
 Slovakia (1993)		
 Spain (1961-1968, 1983-)		



CERN – globalna nauka

Distribution of All CERN Users by Nationality on 27 January 2020



MEMBER STATES

7 149

Austria	95
Belgium	113
Bulgaria	71
Czech Republic	216
Denmark	52
Finland	72
France	778
Germany	1 177
Greece	216
Hungary	77
Israel	59
Italy	1 856
Netherlands	170
Norway	59
Poland	311
Portugal	94
Romania	144
Serbia	49
Slovakia	128
Spain	405
Sweden	74
Switzerland	204
United Kingdom	729

OBSERVERS 2 506

Japan	274
Russia	1 126
USA	1 106

ASSOCIATE MEMBERS IN THE PRE-STAGE TO MEMBERSHIP

54

Cyprus	21
Slovenia	33

ASSOCIATE MEMBERS

770

Croatia	47
India	367
Lithuania	31
Pakistan	63
Turkey	162
Ukraine	100

OTHERS

Bolivia	2	Egypt	26	Ireland	14	Montenegro	8	Saint Kitts and Nevis	1	Uzbekistan	3
Bosnia & Herzegovina	2	El Salvador	1	Jamaica	1	Morocco	26	Saudi Arabia	1	Venezuela	10
Bostwana	1	Estonia	16	Jordan	2	Myanmar	1	Senegal	2	Viet Nam	10
Albania	4	Brazil	121	Kazakhstan	12	Nepal	8	Singapore	4	Zambia	1
Algeria	8	Burundi	1	Ghana	1	New Zealand	6	South Africa	54	Zimbabwe	1
Argentina	22	Canada	155	Gibraltar	1	Korea	161	Sri Lanka	6		
Armenia	18	Chile	21	Guatemala	1	Kyrgyzstan	1	Sudan	2		
Australia	28	China	569	Hong Kong	1	Latvia	4	Syria	2		
Azerbaijan	7	Colombia	35	Honduras	1	Lebanon	23	Taiwan	47		
Bahrain	3	Congo	1	Iceland	5	Luxembourg	3	Paraguay	1	Thailand	24
Bangladesh	5	Costa Rica	1	Indonesia	11	Malaysia	19	Peru	6	Tunisia	5
Belarus	49	Cuba	16	Iran	46	Malta	5	Philippines	4	Uruguay	1
Benin	1	Ecuador	11	Iraq	1	Mexico	80				

1 822

Polska w CERN

6 ośrodków, 10 instytucji

~300 fizyków doświadczalnych i inżynierów

~100 fizyków teoretyków

Warszawa:

Narodowe Centrum Badań Jądrowych

Uniwersytet Warszawski

Politechnika Warszawska

Kraków:

Akademia Górniczo-Hutnicza

Politechnika Krakowska

Uniwersytet Jagielloński

Instytut Fizyki Jądrowej PAN

Łódź:

Uniwersytet Łódzki

Katowice:

Uniwersytet Śląski

Wrocław:

Uniwersytet Wrocławski

Kielce:

Uniwersytet Jana Kochanowskiego





CERN i Nagrody Nobla

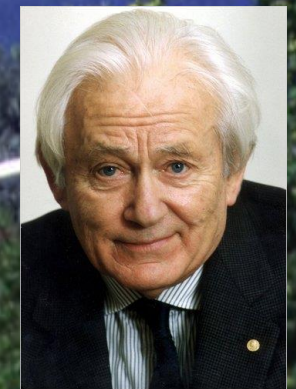
1984 Carlo Rubbia i Simon van der Meer
“za prace, które doprowadziły do odkrycia bozonów W i Z”

1992 George Charpak
“za pomysł i opracowanie detektorów cząstek, w szczególności MWPC (wielodrutowej komory proporcjonalnej)”

Inni Nobliści związani z CERN:

1952 Felix Bloch – za precyzyjne pomiary magnetyzmu jąder atomowych – pierwszy Dyrektor Generalny CERN

1976 Samuel C. Ting – za odkrycie cząstki J/ψ – kiedyś szef eksperymentu L3 na LEP, obecnie szef eksperymentu AMS na Międzynarodowej Stacji Kosmicznej





1954-2024

YEARS / ANS **CERN**



Large Hadron Collider (LHC) - Wielki Zderzacz Hadronów



LHC - Large Hadron Collider (Wielki Zderzacz Hadronów)

LHC
to prawdziwa księga rekordów
Guinnessa

Głębokość
tunelu akc.
 $H=100\text{m}$

Długość tunelu
akceleratora
 $L=27\text{km}$

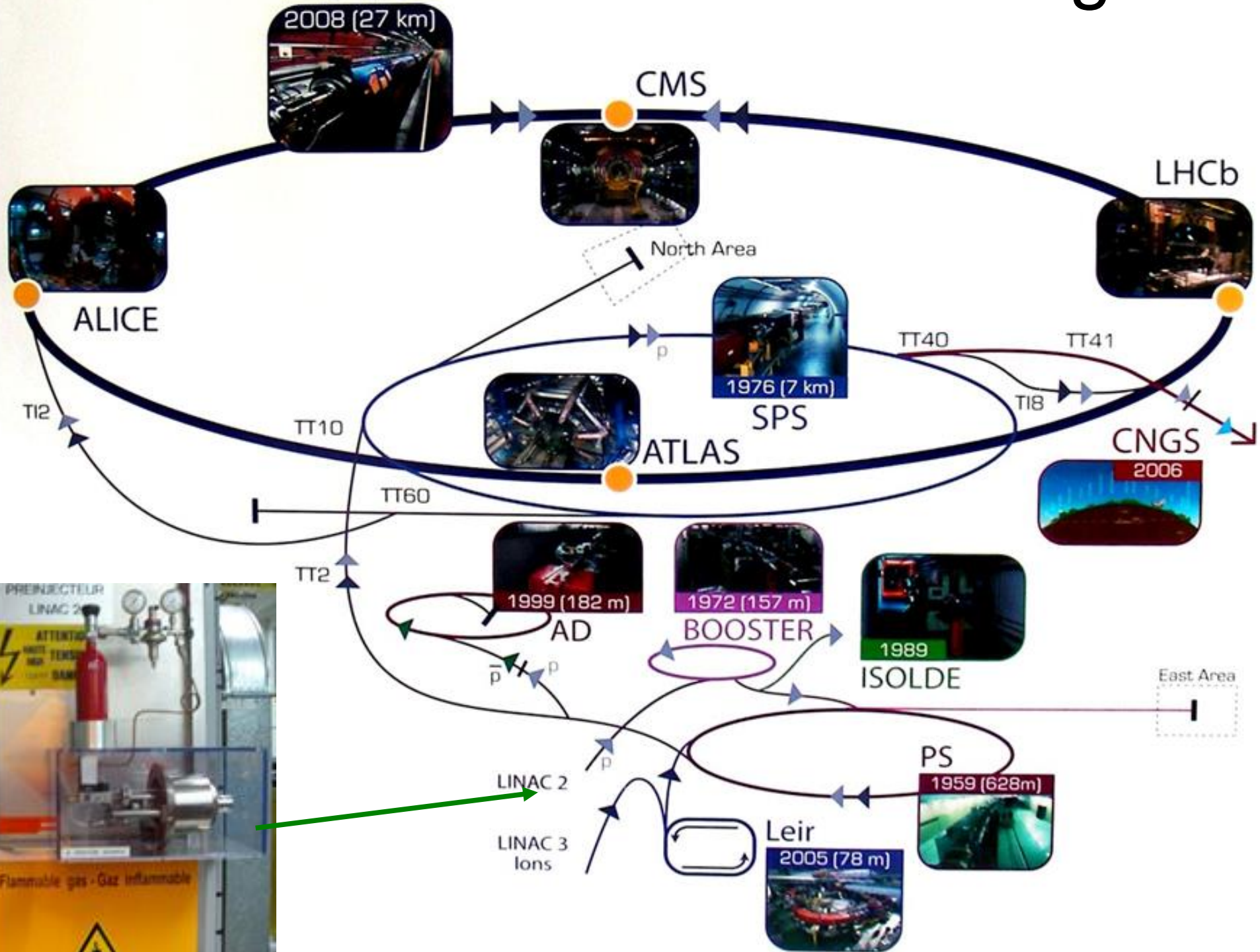
W tych rurach
krążą protony;
ich prędkość:
 $v=0.9999999991c$
Energia: $E=7\text{ TeV}$
 c – prędkość
światła

Próżnia
 $P=10^{-10}\text{ Tr}$

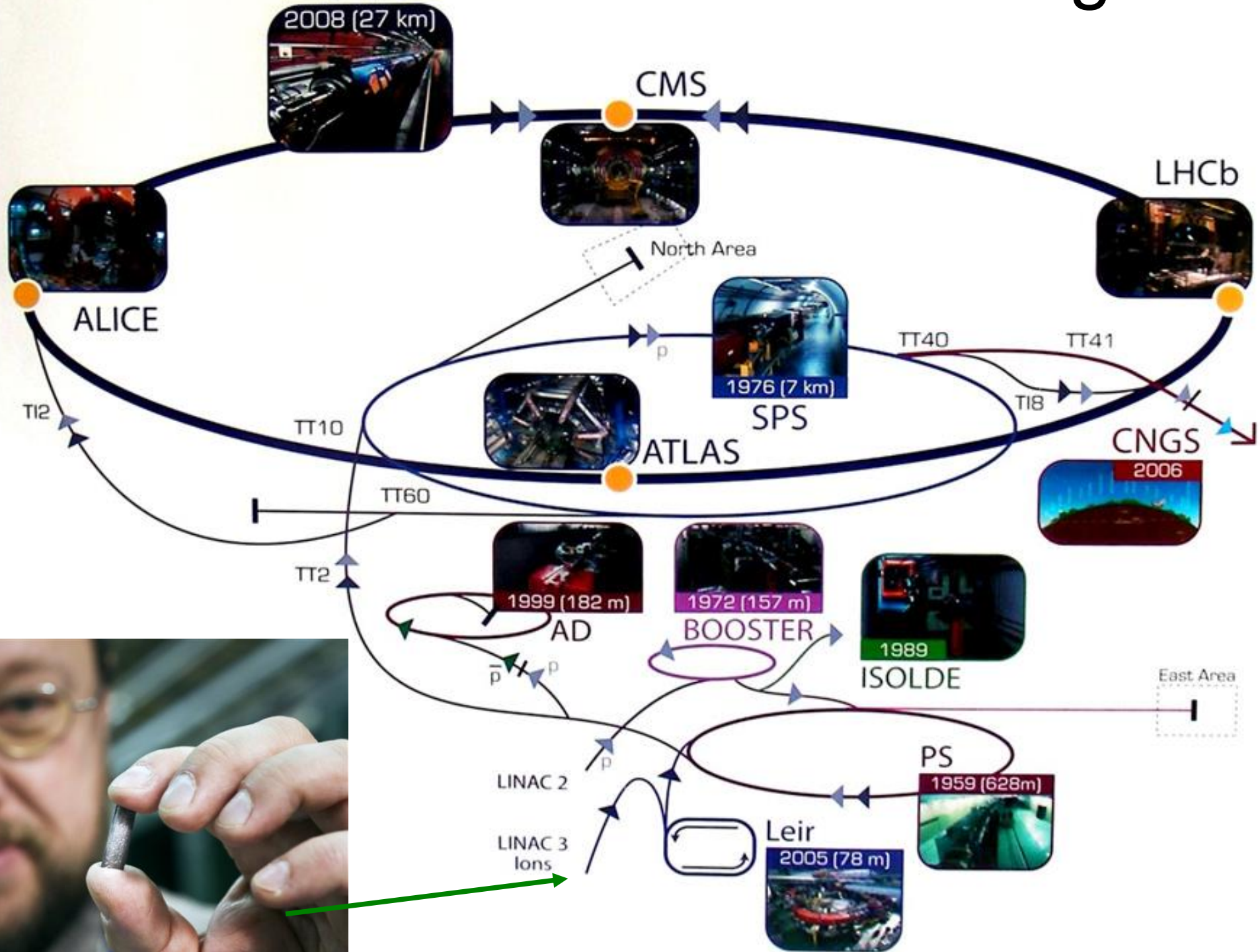
Temperatura
 $T=1.9\text{ K} =$
 -271.2 °C

Magnesy nadprzewodzące:
Prąd elektryczny: $I=11\,700\text{ A}$
Pole magnetyczne: $B=8.7\text{ T}$

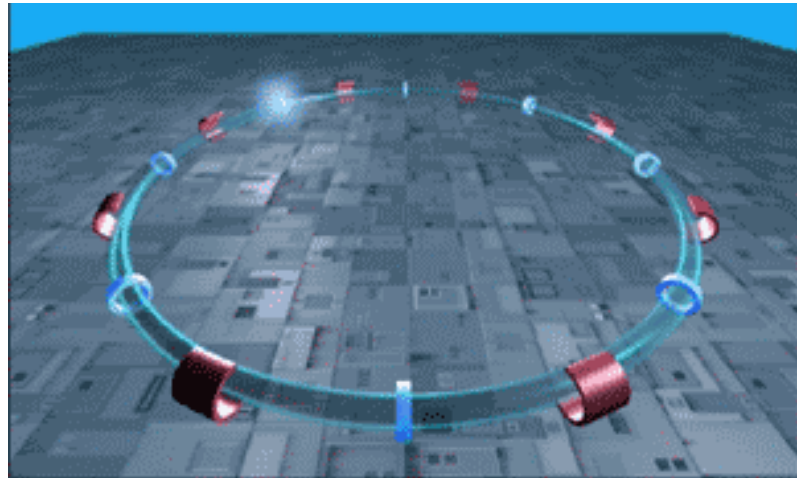
LHC = Lord of the Rings



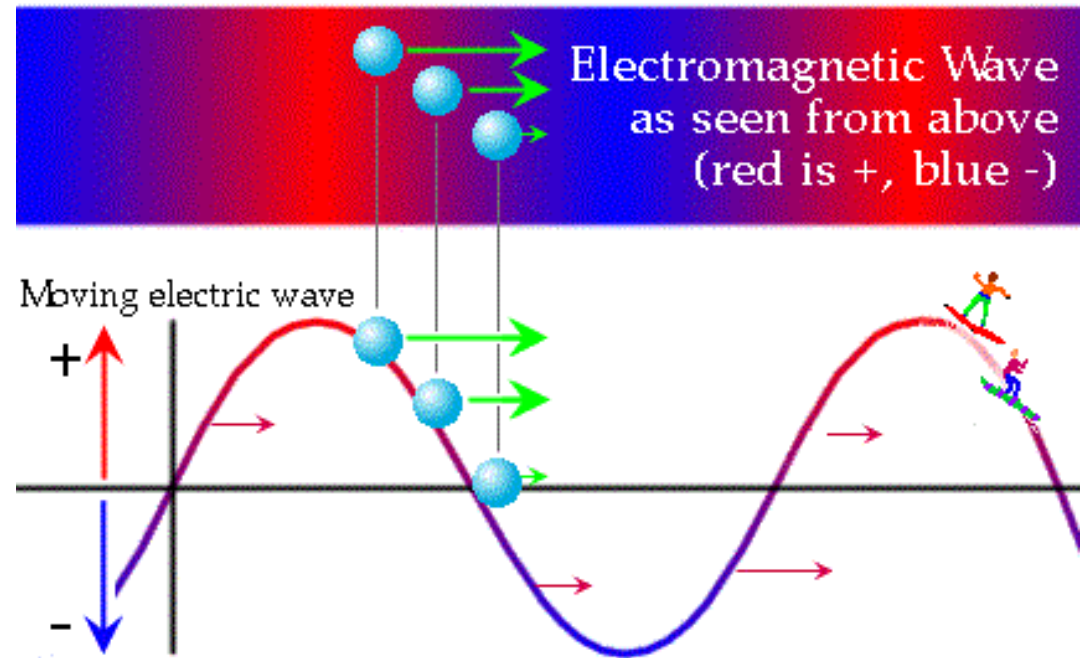
LHC = Lord of the Rings



Jak to działa w praktyce?



Electromagnetic wave is traveling, pushing particles along with it

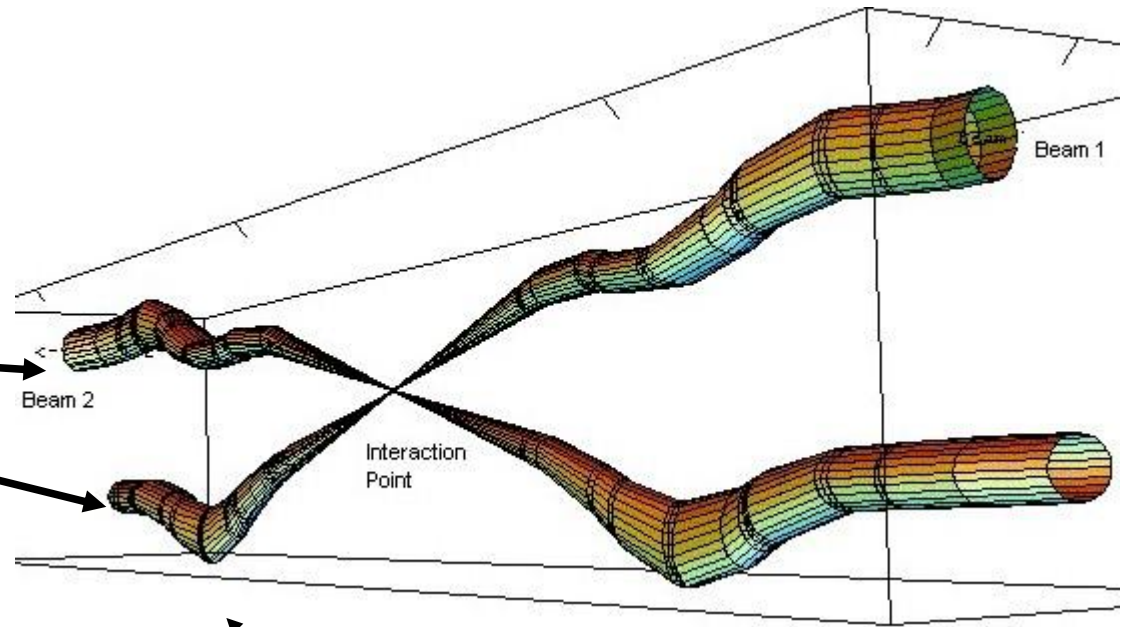


Możemy przyspieszać tylko cząstki naładowane (elektrony, protony, jądra atomowe)

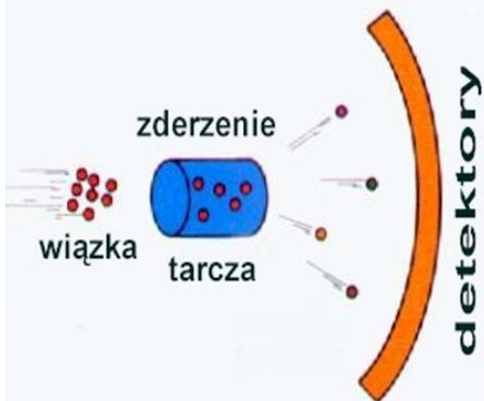
Pole elektryczne – przyspiesza cząstki

Pole magnetyczne – zakrzywia tor wiązki
– skupia wiązkę

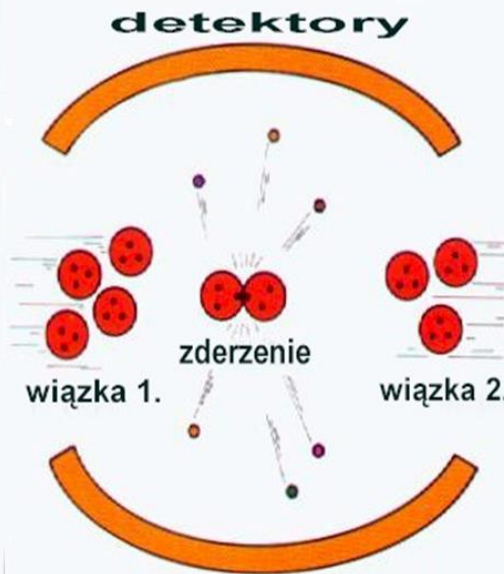
Ale gdzie te zderzenia?



Zderzenia: wiązka-tarcza

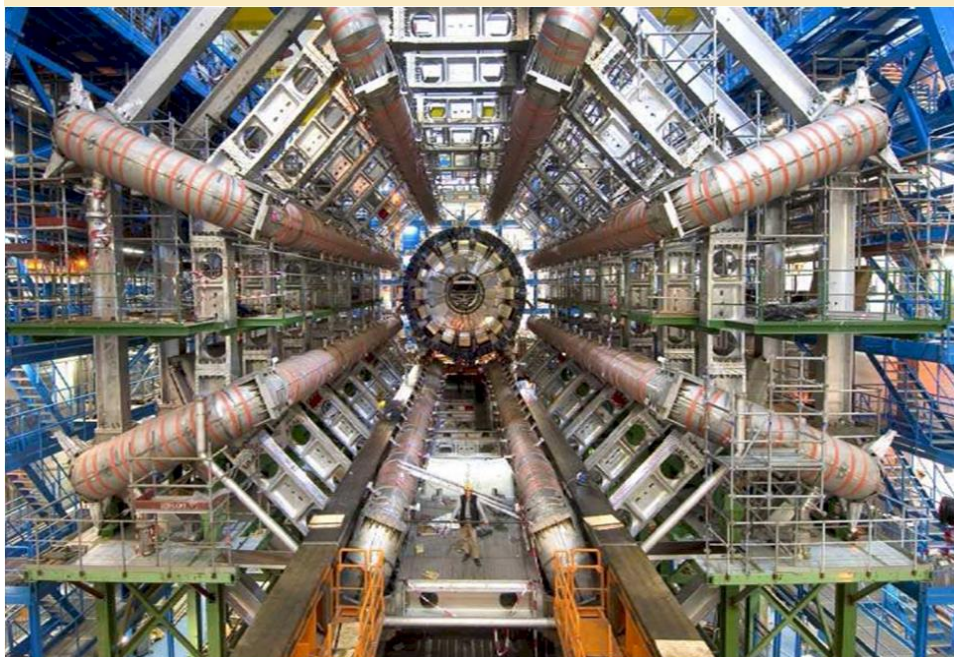


Zderzenia wiązek

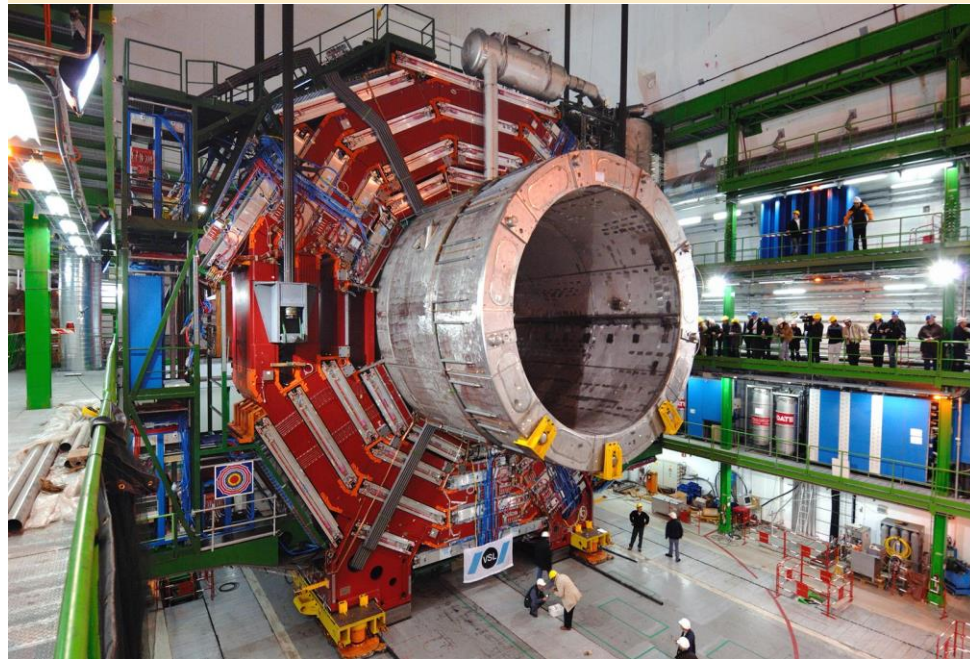


Zakrzywiamy i zwięzamy
wiązkę również
używając magnesów

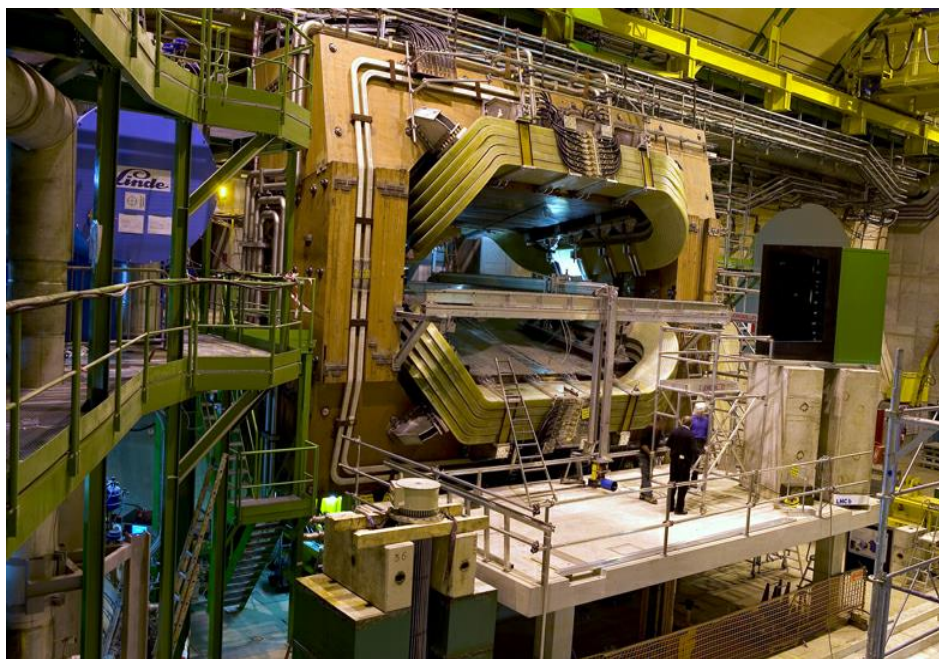
CERN – eksperyment ATLAS



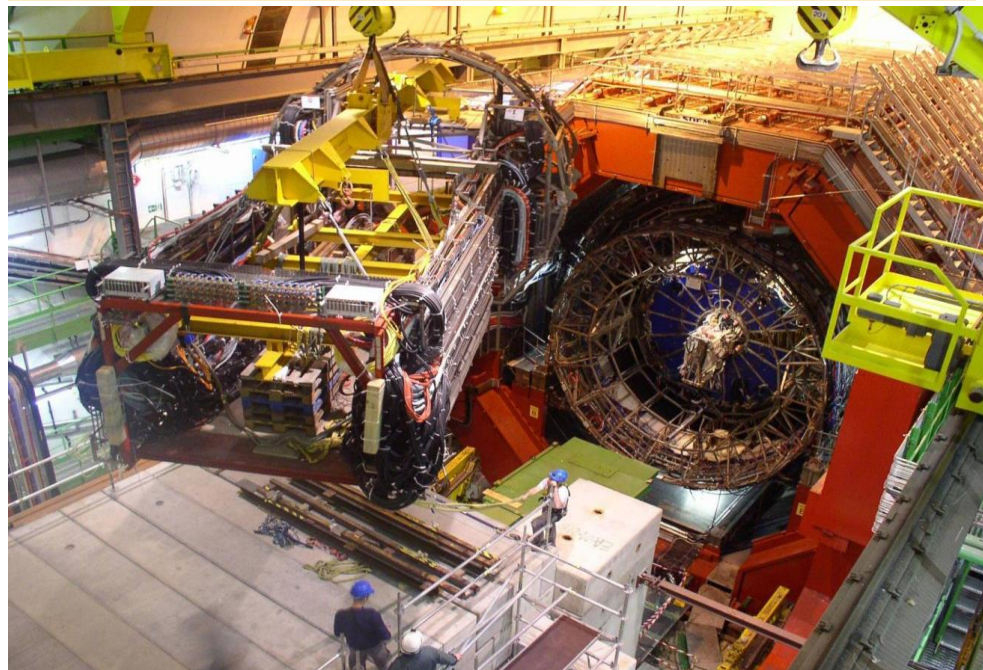
CERN – eksperyment CMS

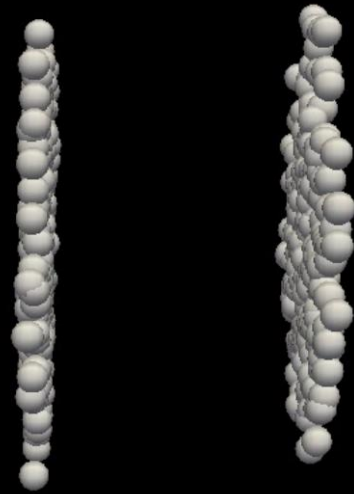


CERN – eksperyment LHCb



CERN – eksperyment ALICE

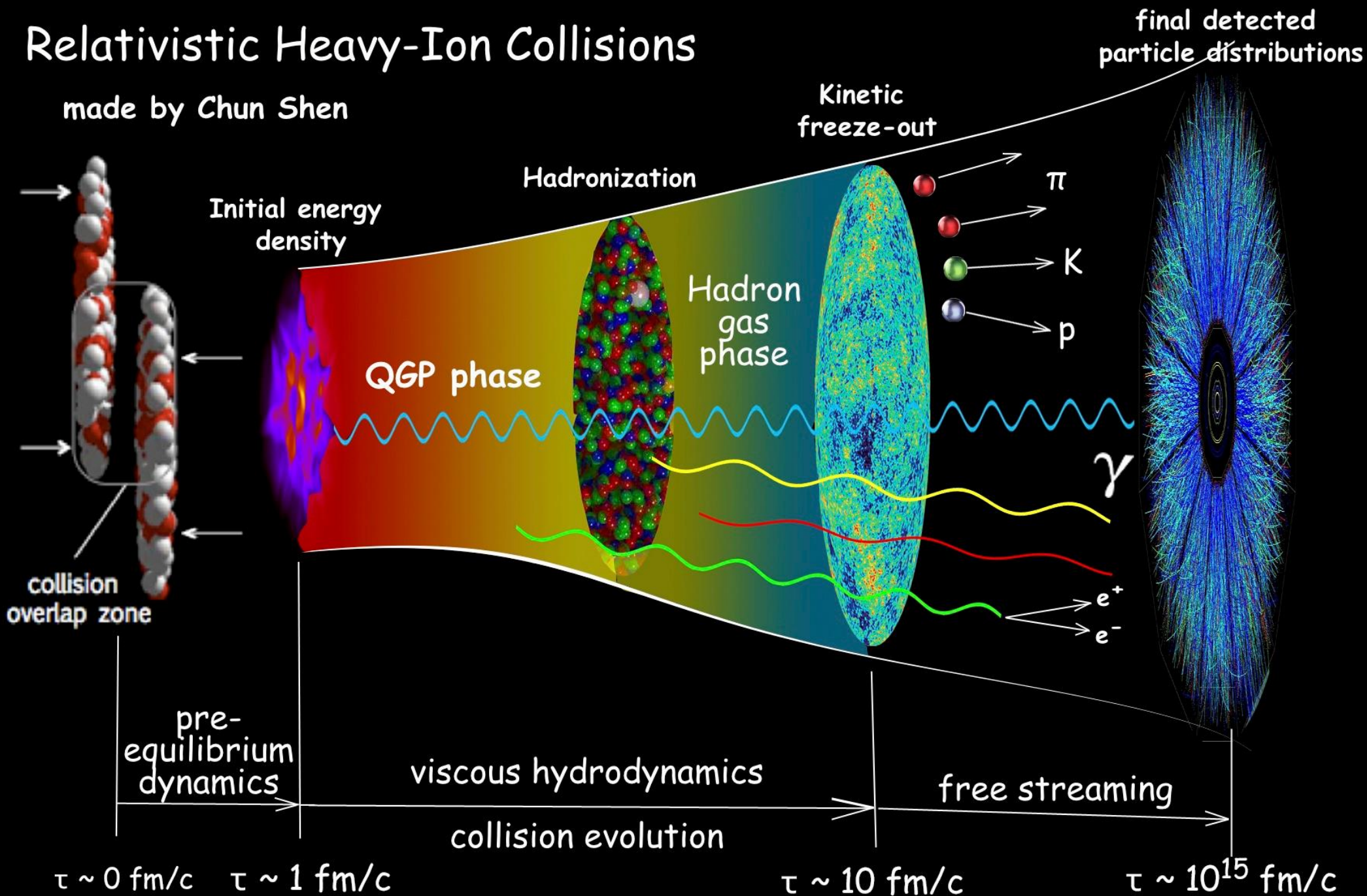




MADAI.us

Relativistic Heavy-Ion Collisions

made by Chun Shen



Temperatura krytyczna, poniżej której następuje przejście fazowe.



Poniżej pewnej temperatury kwarki łączą się w protony, neutrony i inne cząstki.

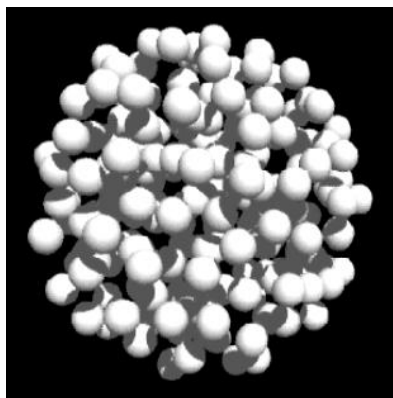
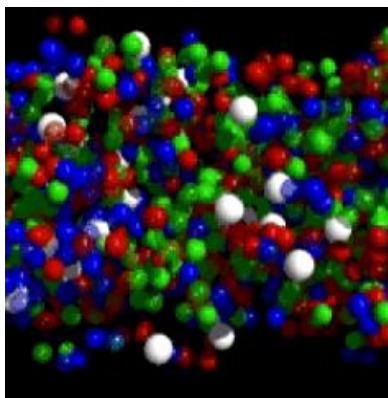


Diagram fazowy wody

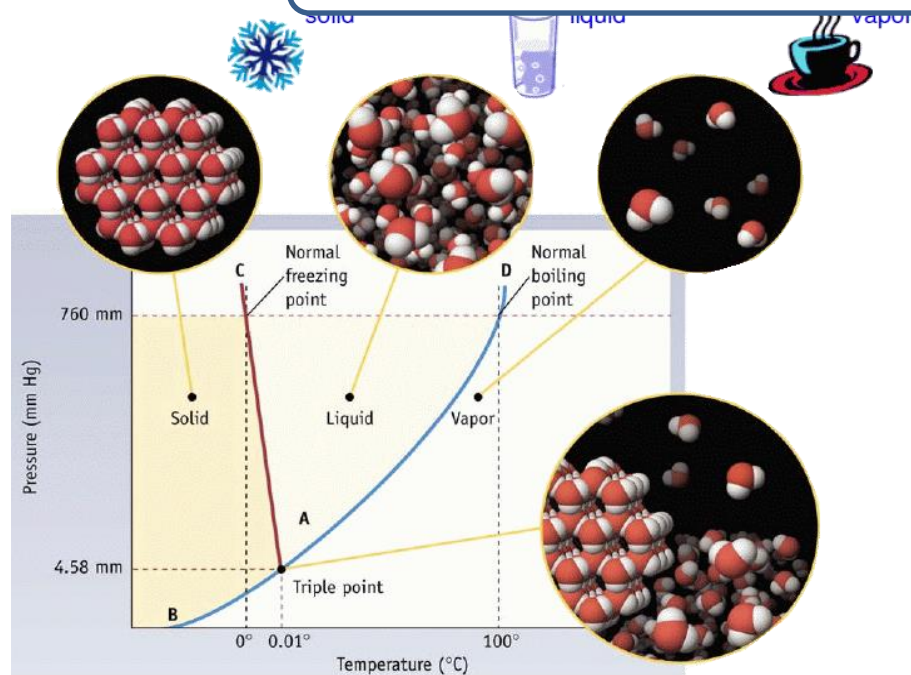
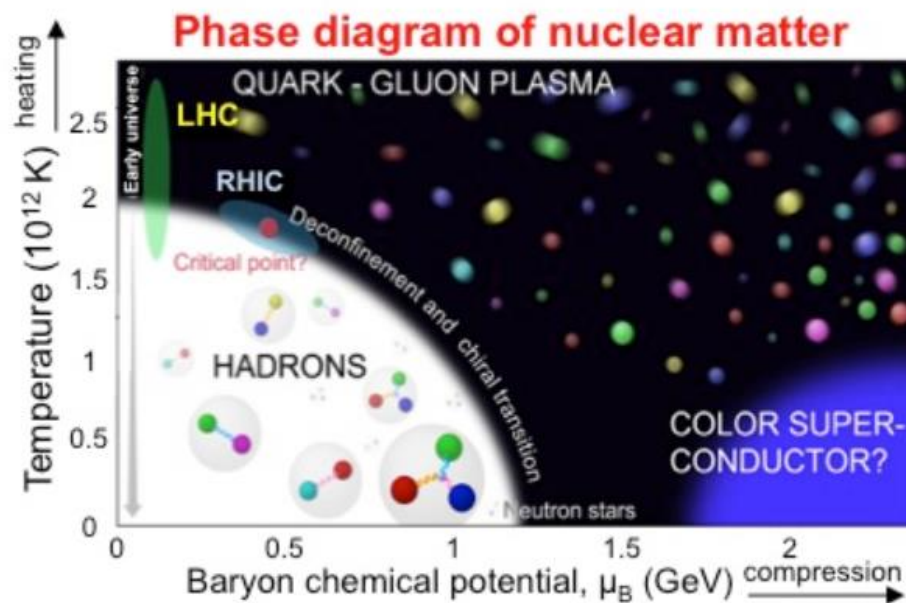
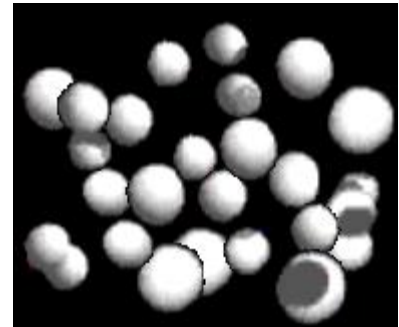
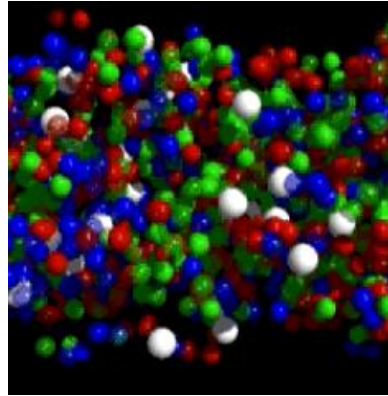
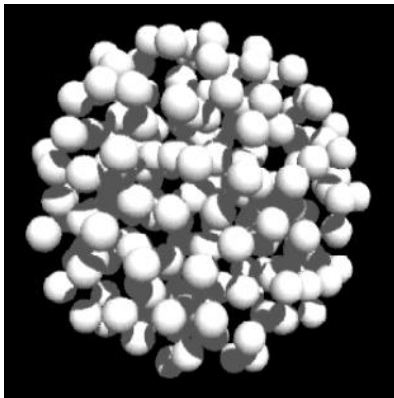


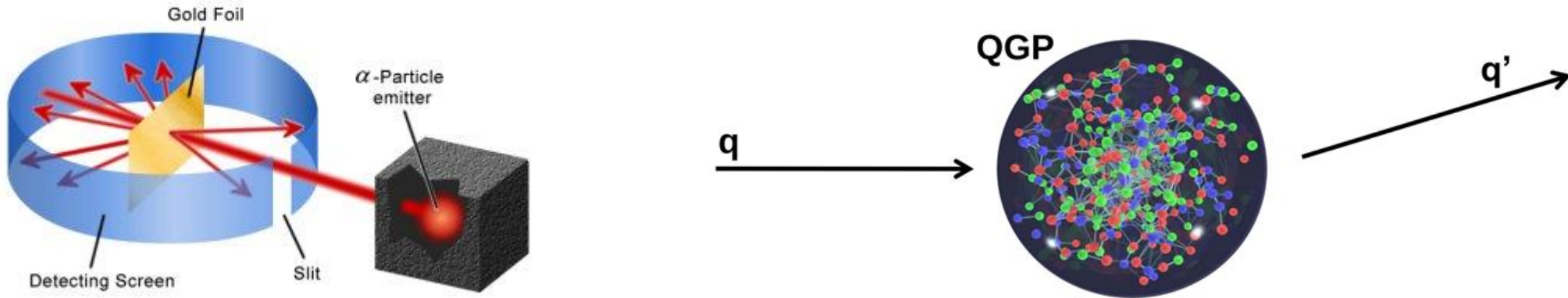
Diagram fazowy plazmy





Jak badać plazmę?

- W idealnej sytuacji: użylibyśmy idei Rutherforda



- Ale:

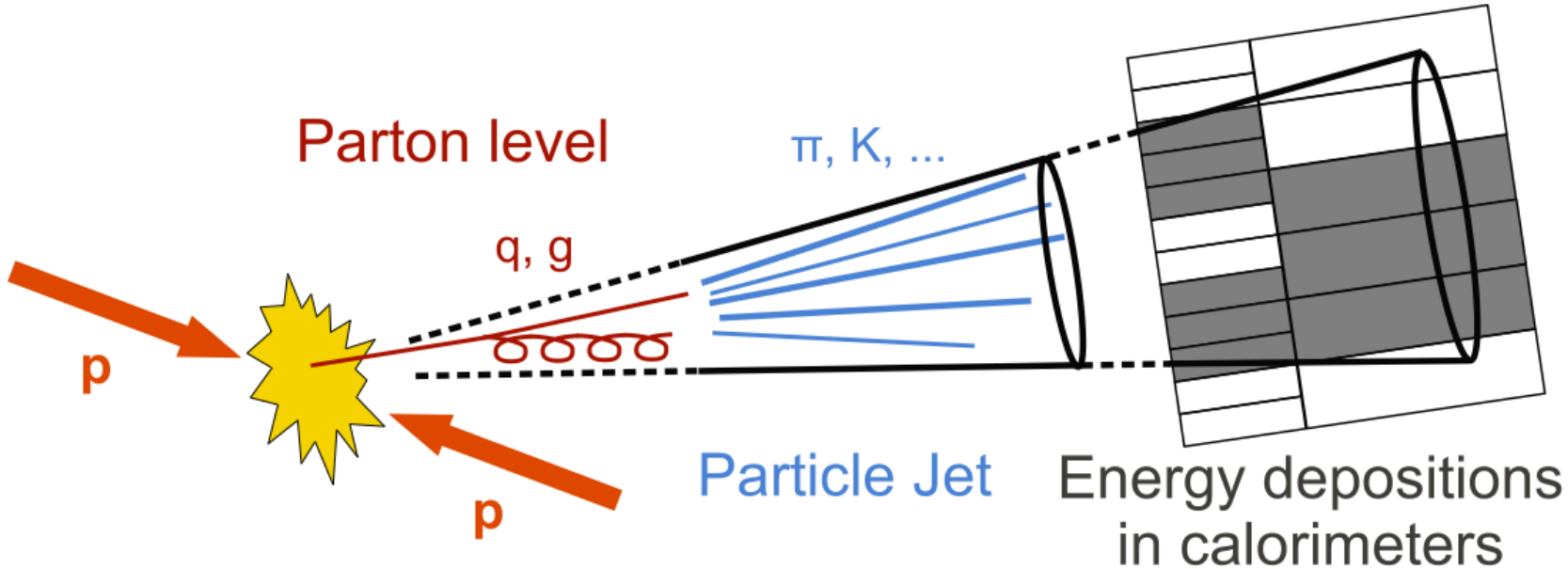
- QGP istnieje tylko $\sim 10^{-23}$ s
- Nie mamy wolnych ładunków kolorowych, które moglibyśmy wykorzystać jako sondy

- Zamiast tego:

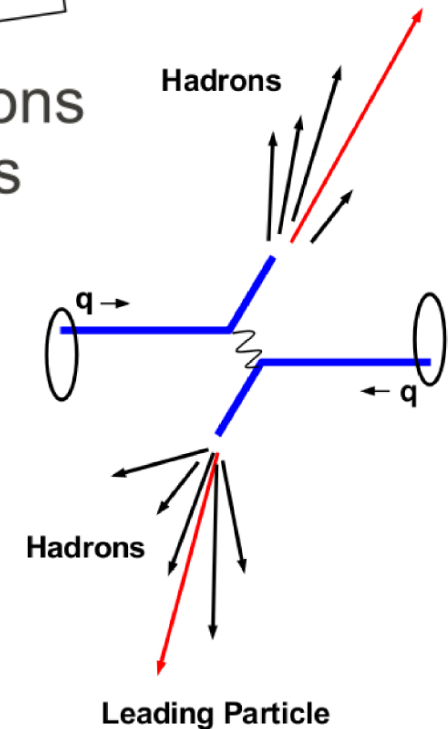
- Wykorzystanie takich procesów, które są tworzone przez samo QGP (“self-generated QGP probes”)

Przykład: Jets

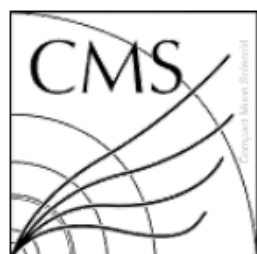
- Początkowe partony (kwarki lub gluony) o wysokich pędach powodują powstanie tzw. jet'ów:



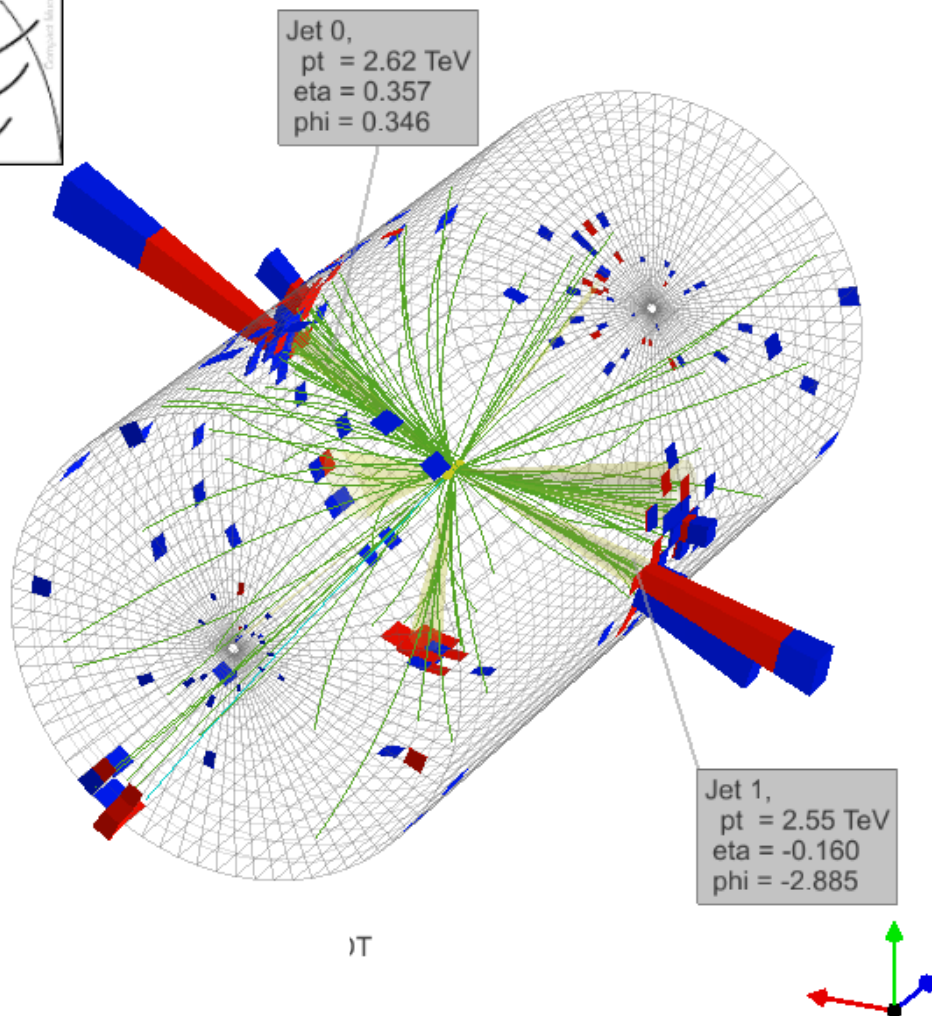
- “Jet” to skolimowany strumień cząstek (hadronów) o wysokim pędzie (energii), które docierają do detektorów
- W praktyce (zasada zachowania energii-pędu) w zderzeniu mamy dwa (a czasami więcej) takie jet'y



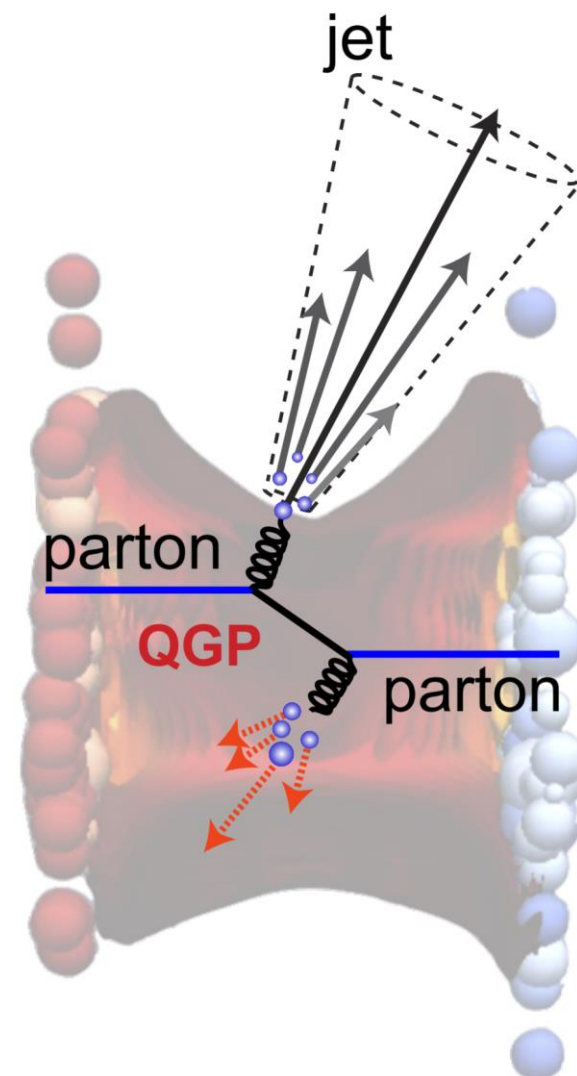
Przykład: Jets



proton-proton



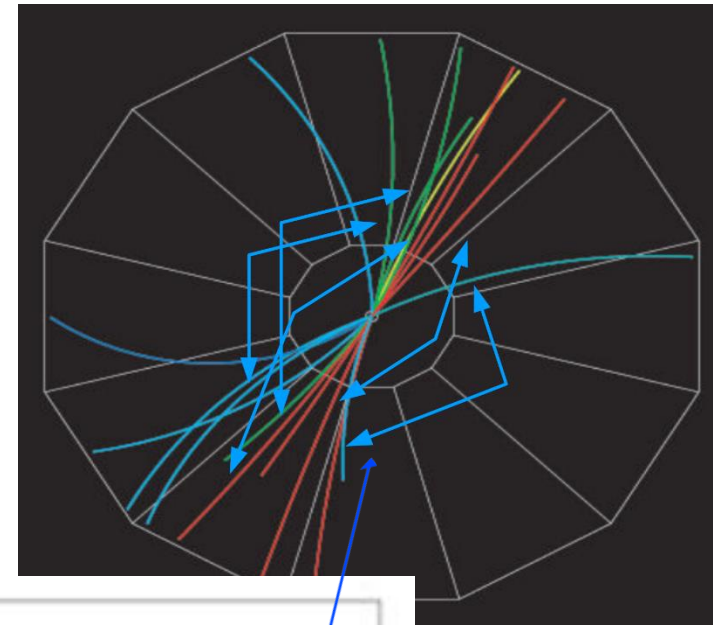
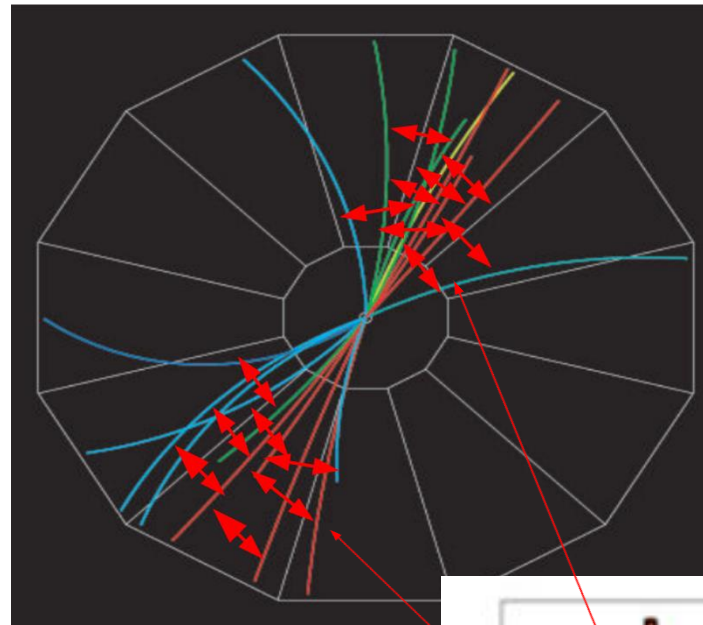
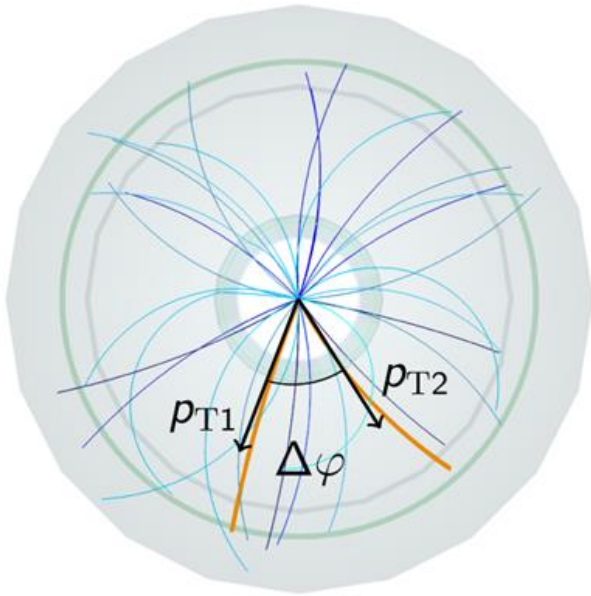
Pb-Pb



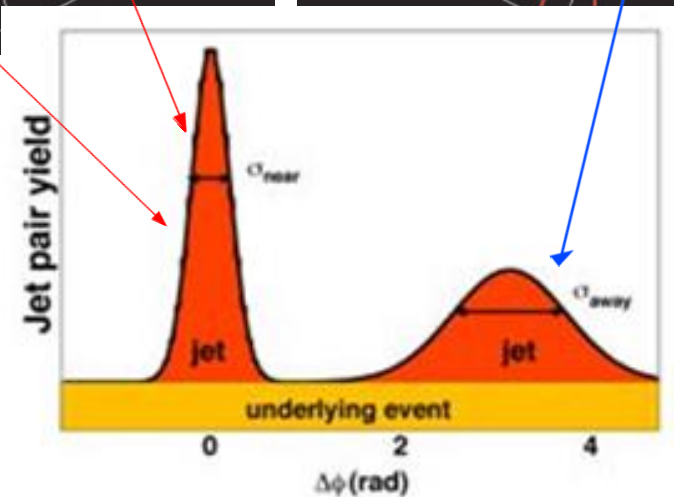
- W zderzeniach ciężkich jonów jeden z dwóch jet'ów powinien być tłumiony przy przejściu przez plazmę

Przykład: Jets

- Jak eksperymentalnie zmierzyć tłumienie drugiego jet'u?
- Możemy popatrzeć na zderzenie w płaszczyźnie prostopadłej do osi wiązki i policzyć różnicę w kącie azymutalnym dla pary cząstek:

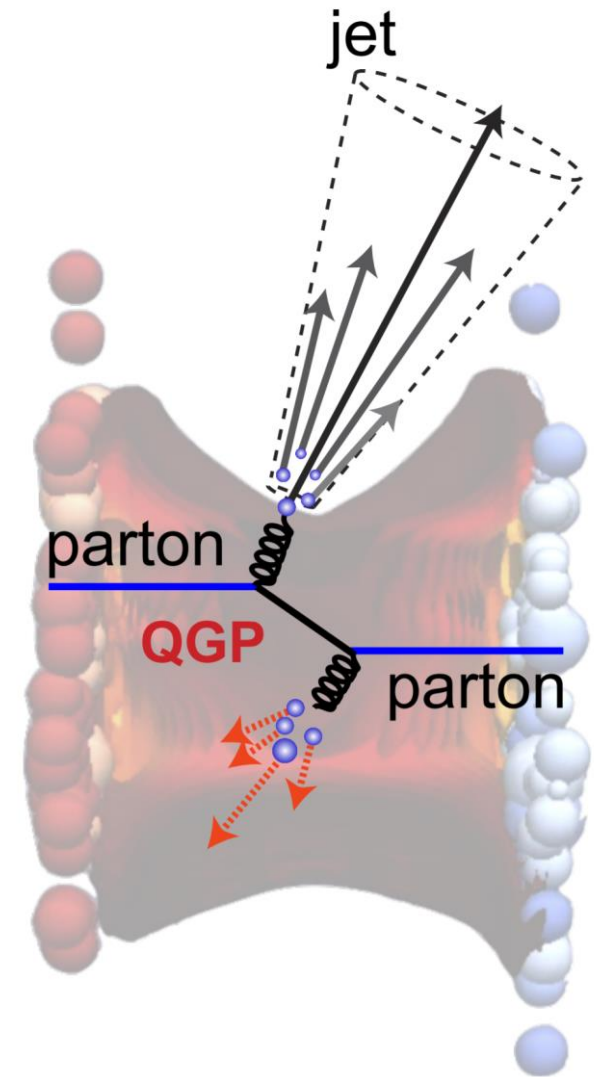
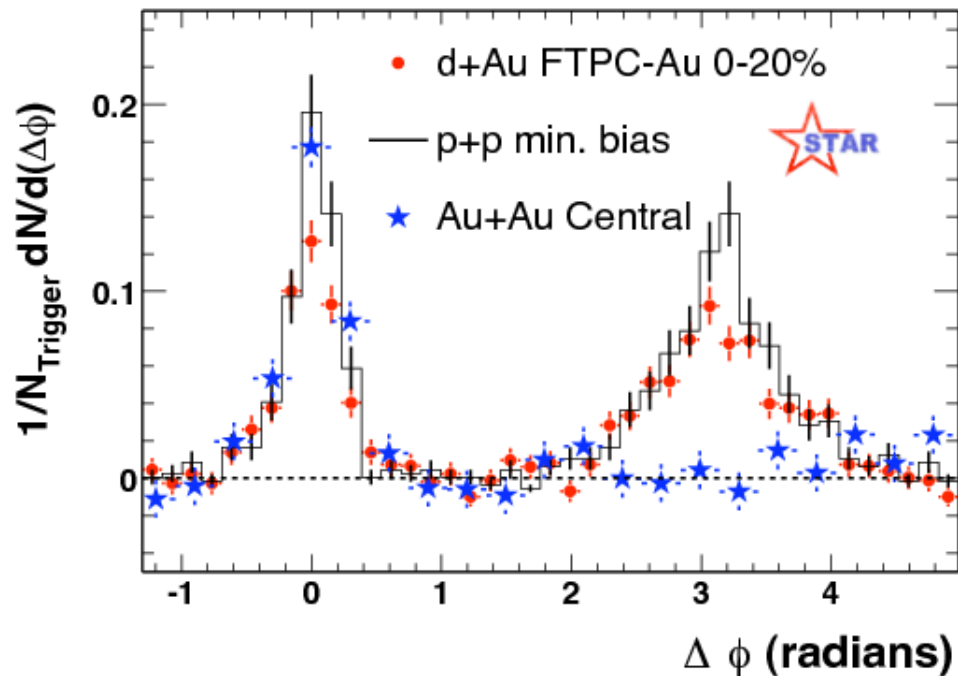


p_T - transverse momentum;
 φ - azimuthal angle;



Przykład: Jets

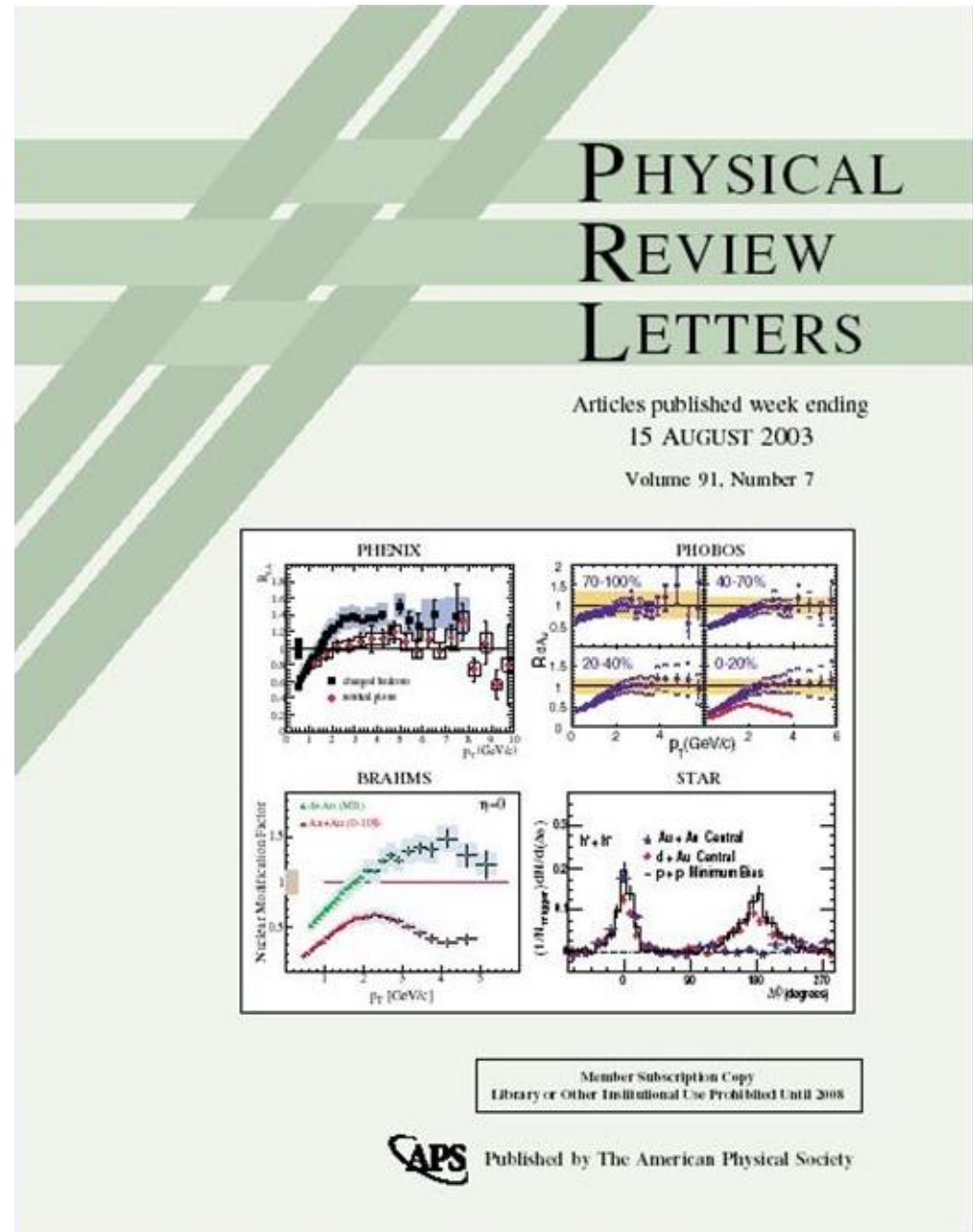
- I jeśli przeprowadzimy taką analizę osobno dla zderzeń protonów i ciężkich jonów, to otrzymamy:
tu przykład z eksperymentu STAR na akceleratorze RHIC w USA



- Wynik ten wskazuje, że faktycznie istnieje tłumienie drugiego jet'u (jet quenching) – mamy inną fizykę w zderzeniach pp i jon-jon

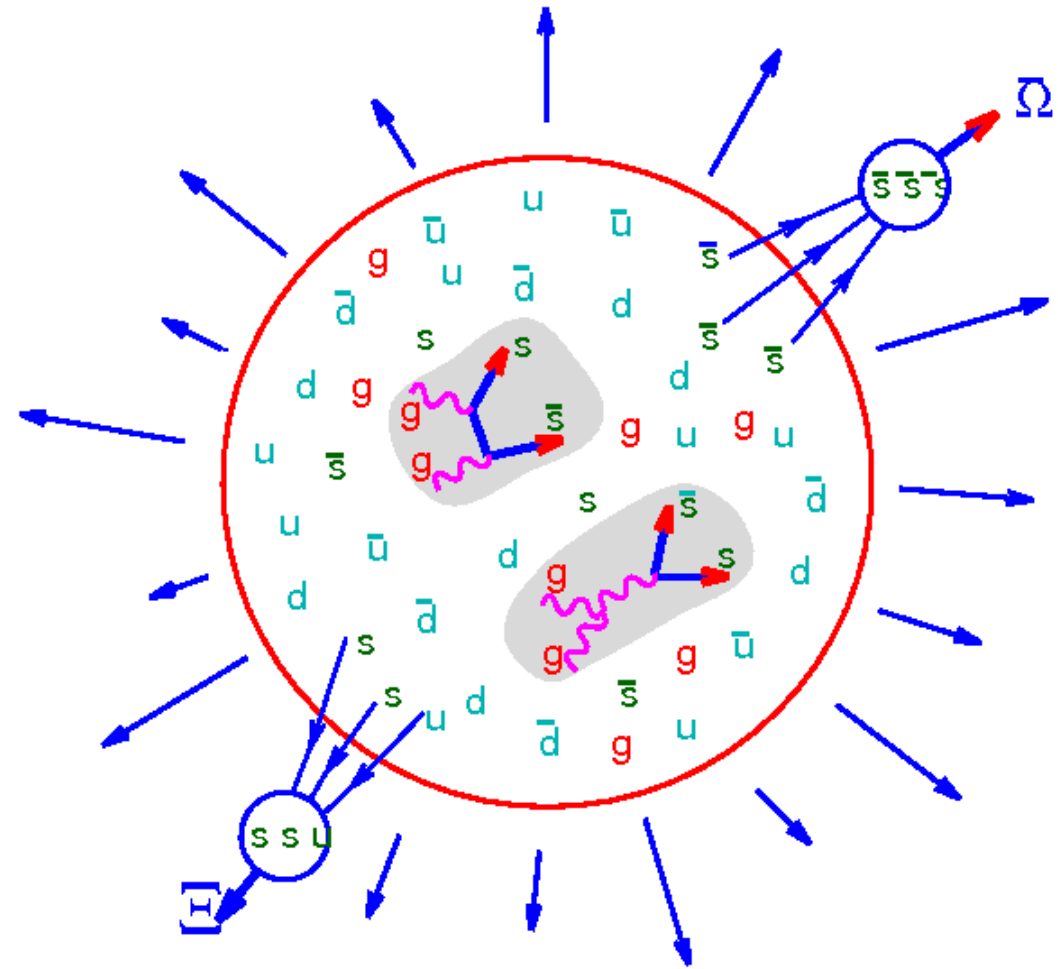
Przykład: Jets

- Tego typu pomiary nazywamy **sygnaturami QGP**
- Wynik ten (wraz z innymi tego typu) znalazł się na okładce Physical Review Letters w 2003 roku (najbardziej prestiżowe czasopismo naukowe w dziedzinie fizyki)
- Jest to pośredni dowód istnienia plazmy kwarkowo-gluonowej
- Oczywiście, takich sygnatur jest znacznie więcej
- Obecnie, 15 lat później, wiemy znacznie więcej na temat QGP



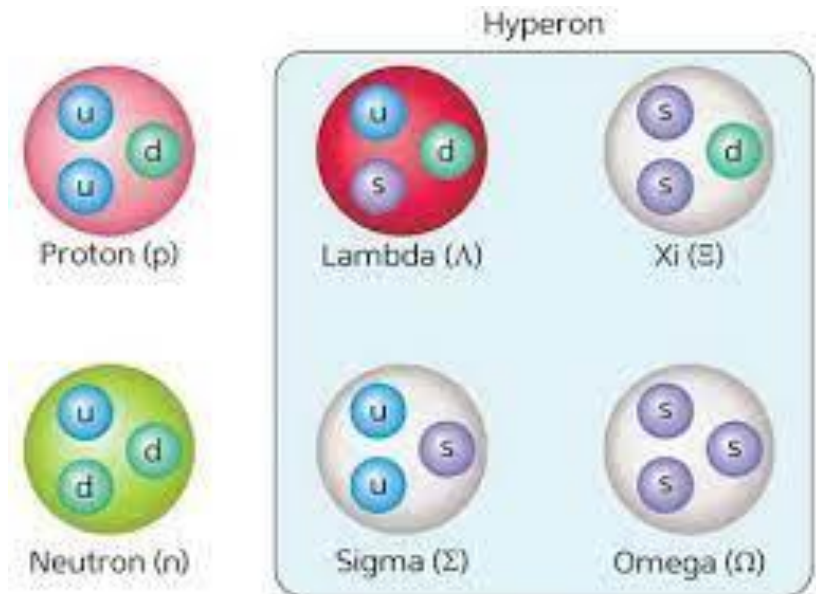
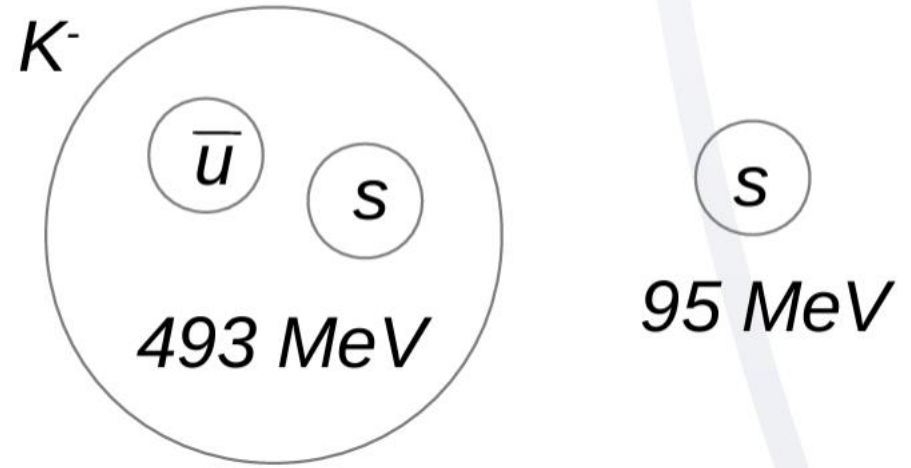
Wzmocnienie dziwności

- **Cząstki dziwne** są hadronami zawierającymi przynajmniej **jeden kwark dziwny**
- Kwarki dziwne normalnie nie istnieją w otaczającej nas materii – idealna sonda do badania QGP!
- Liczba wytworzonych kwarków dziwnych zależy od warunków i dynamiki plazmy



Wzmocnienie dziwności

- Cząstki są produkowane z energii zderzenia $E=mc^2$
- W normalnych warunkach (brak QGP), “koszt” produkcji jednego kwarka dziwnego **to minimum 493 MeV** (masa kaonu)
- Gdy istnieje QGP, kwarki s mogą istnieć **niezależnie**, zatem koszt produkcji jednego kwarka jest mniejszy
- Zatem powinniśmy obserwować **więcej dziwnych cząstek w zderzeniach ciężkich jonów** gdzie powstaje QGP w stosunku do kombinacji niezależnych zderzeń nukleon-nukleon



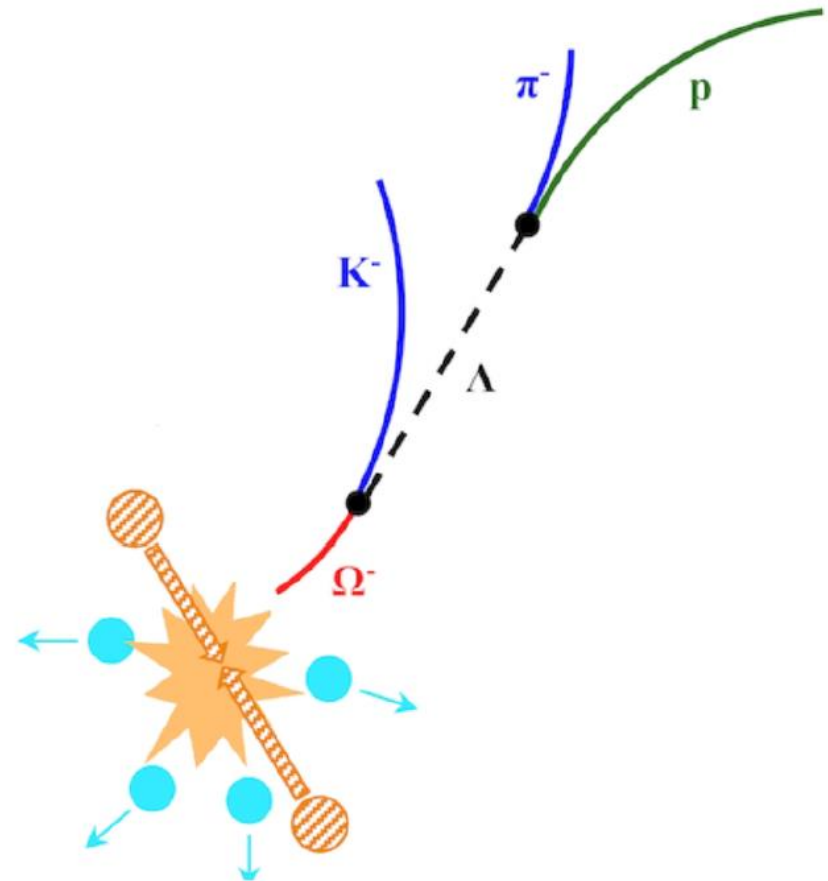
Pomiar dziwnych hadronów

- Hadrony zawierające kwark dziwny są **niestabilne**
- Przelatują one kilka cm w detektorze z punktu interakcji (IP, lub **Wierzchołek Pierwotny**)
- W tzw. **Wierzchołku Wtórnym** rozpadają się one na hadrony nie-dziwne, które są rejestrowane przez detektor
- Takie cząstki mają specyficzną topologię rozpadu V, stąd nazywają się **V0** (0 – brak ładunku elektrycznego)
- Dla cząstek z wieloma kwarkami s, topologia może być bardziej rozbudowana

$$\Lambda \rightarrow p\pi^{-}$$

$$\Xi^{-} \rightarrow \Lambda\pi^{-}$$

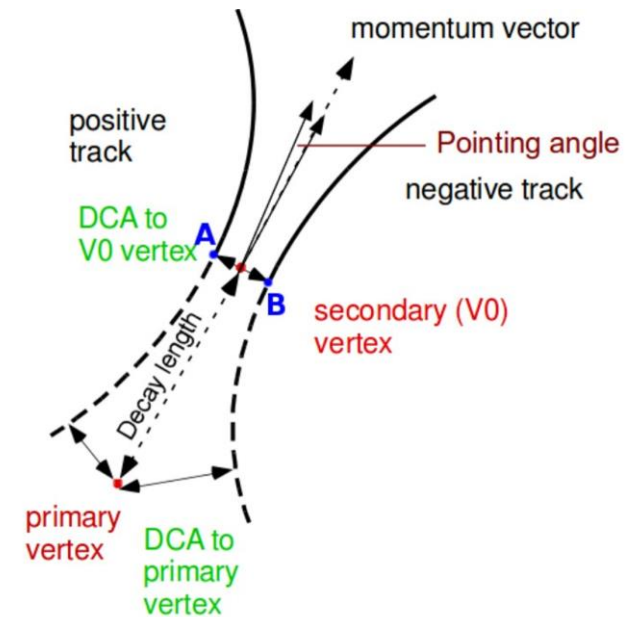
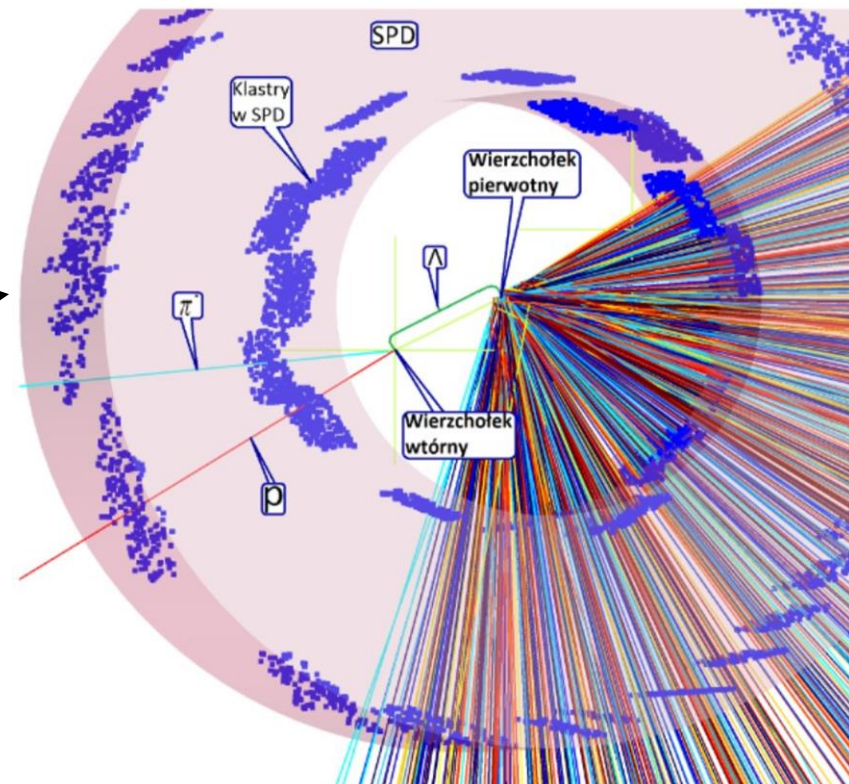
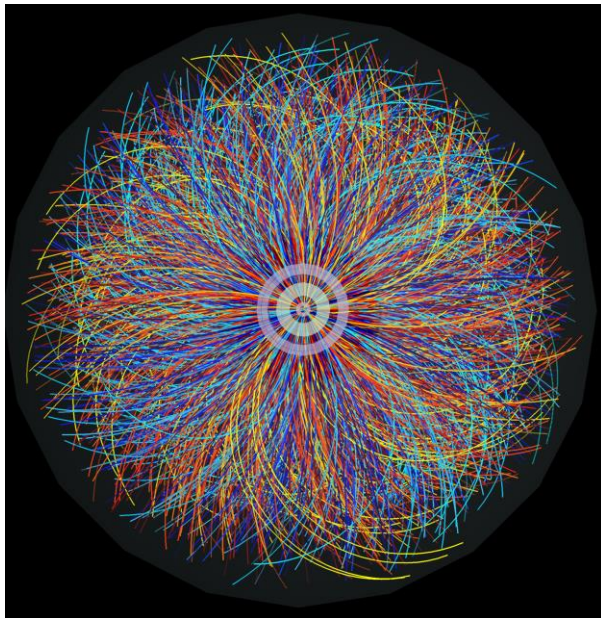
$$\Omega^{-} \rightarrow \Lambda K^{-}$$



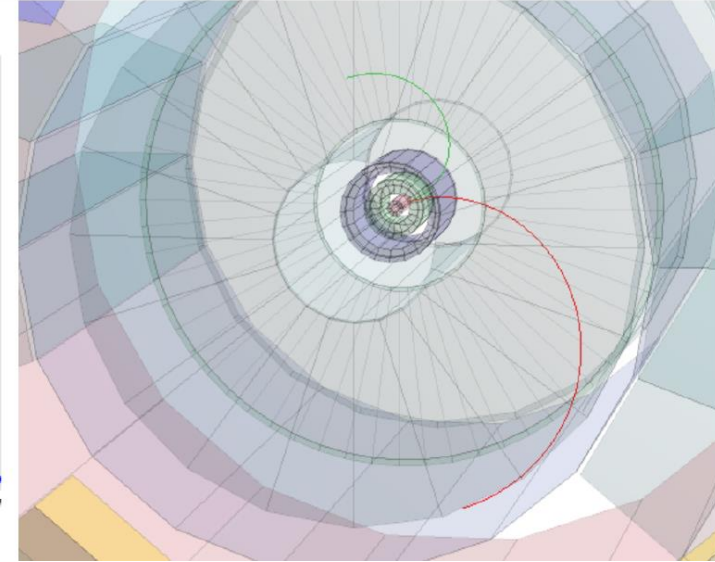
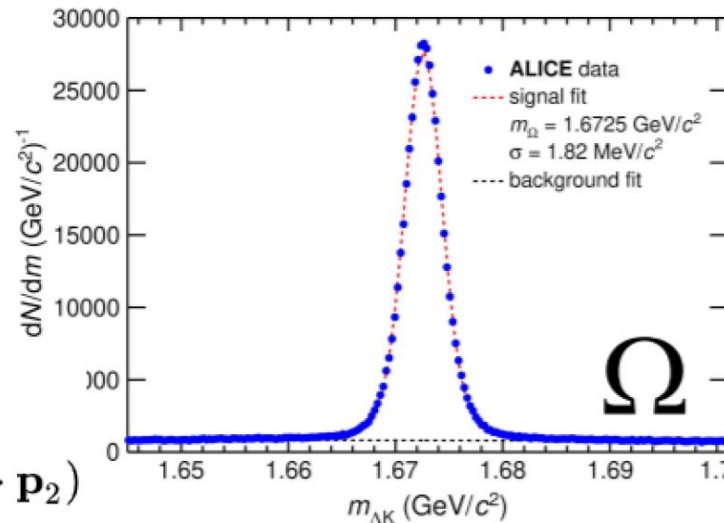
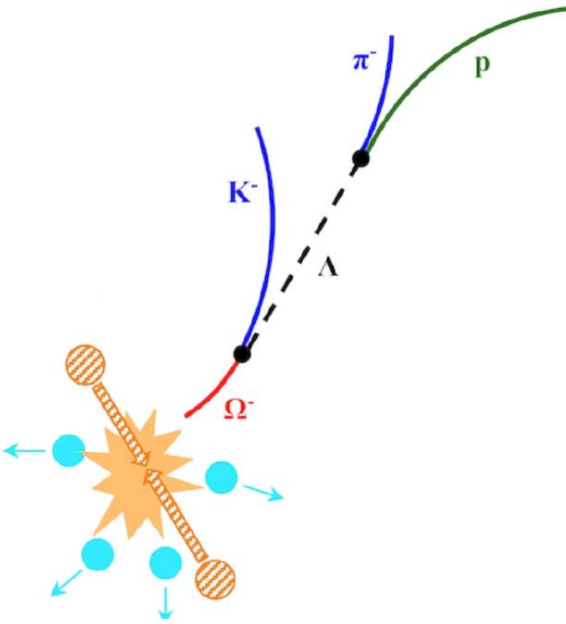
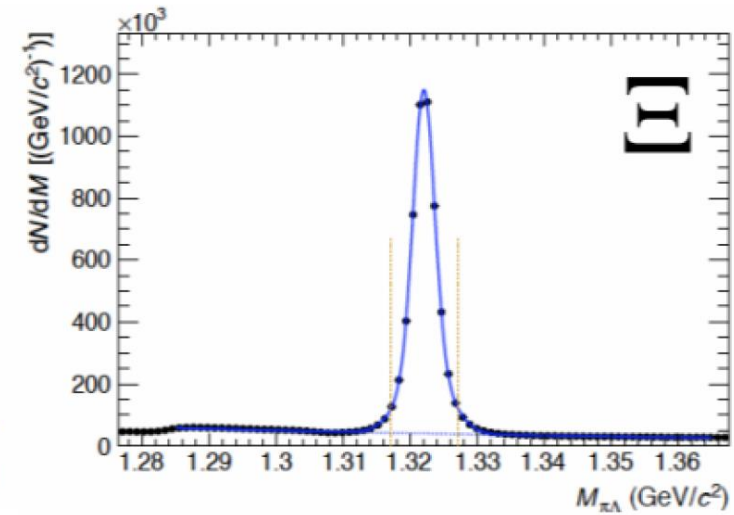
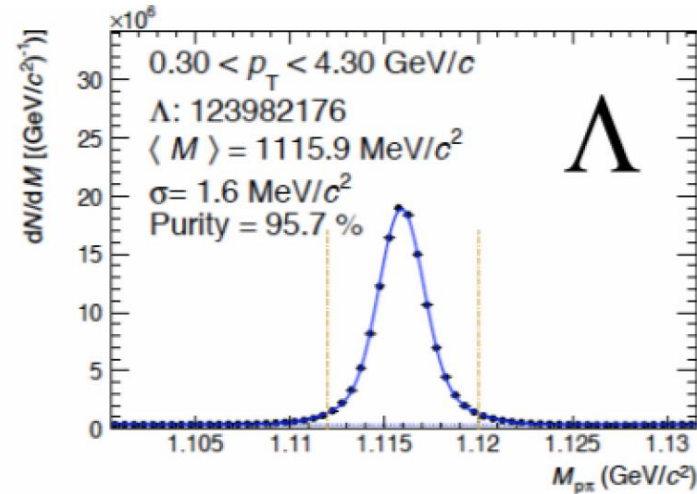
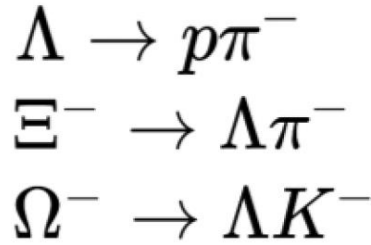
Pomiar dziwnych hadronów

- Jak znajdujemy je w eksperymencie?
- 1) znajdź wierzchołki wtórne
 - 2) zidentyfikuj produkty rozpadu (oraz ich pędy)
 - 3) oblicz **masę niezmienniczą**

$$M^2 = (E_1 + E_2)^2 - \|\mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2\|^2$$
$$= m_1^2 + m_2^2 + 2(E_1 E_2 - \mathbf{p}_1 \cdot \mathbf{p}_2)$$

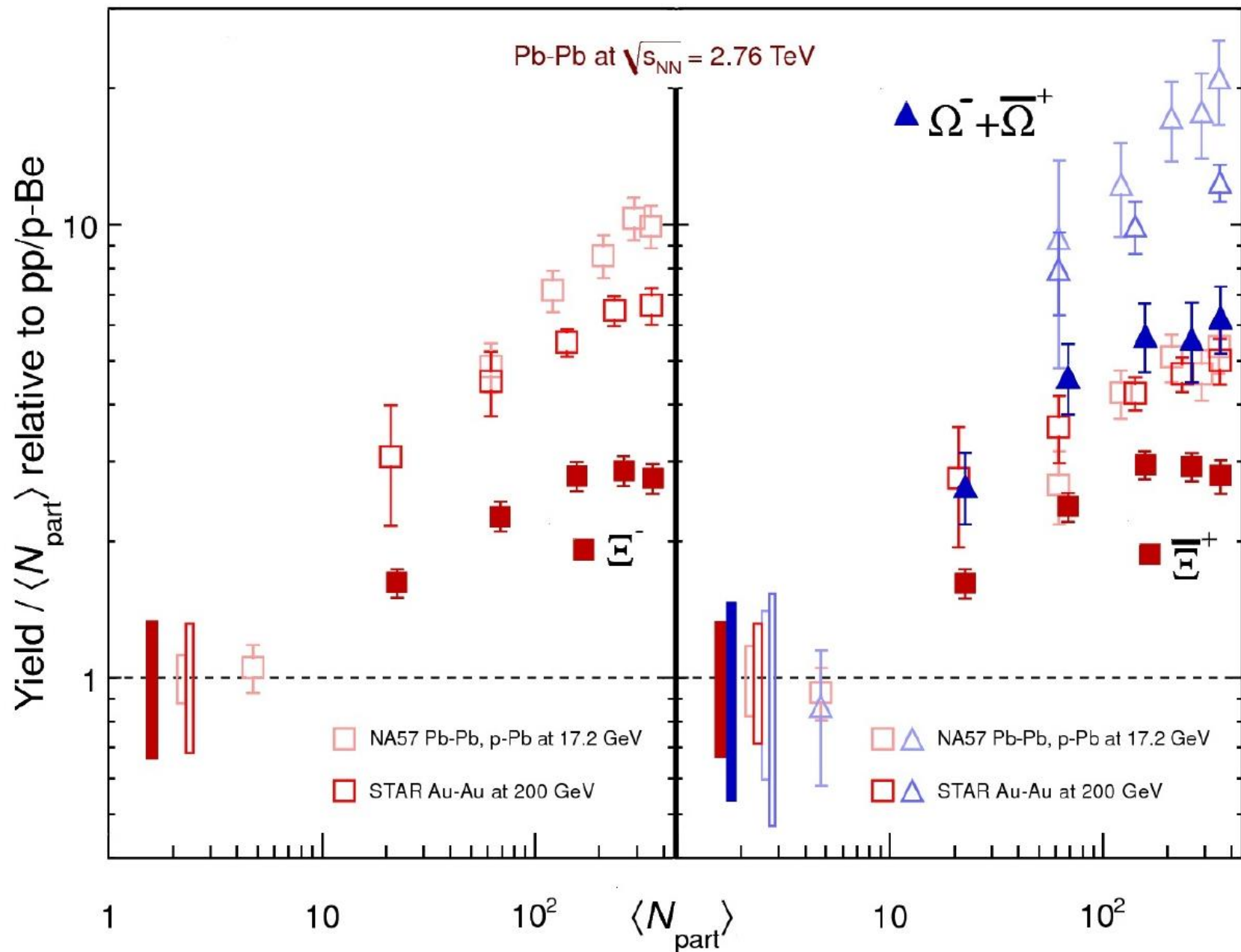


Rozkłady masy niezmienniczej



$$\begin{aligned}M^2 &= (E_1 + E_2)^2 - \|\mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2\|^2 \\ &= m_1^2 + m_2^2 + 2(E_1 E_2 - \mathbf{p}_1 \cdot \mathbf{p}_2)\end{aligned}$$

Wyniki



Tu jest obszar naszych zainteresowań

EWOLUCJA WSZECHŚWIATA

po 13,7 miliardach lat

Dzisiaj

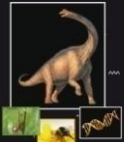


Dzisiaj w CERN-ie cofamy się w czasie i badamy jak powstawała materia

-270°C

po 10 miliardach lat

Życie na Ziemi



Zupa z organicznych cząsteczek pojawia się na Ziemi, małej niebieskiej planecie zagubionej w ogromnym Wszechświecie

po 9,2 miliardach lat

Układ słoneczny



Grawitacja zbiera szczątki gwiazd i powstają planety

po 200 milionach lat

Gwiazdy i galaktyki



Grawitacja zbiera chmury atomów w gwiazdy

W sercu gwiazd zachodzi synteza ciężkich atomów – cegiełek życia

po 380000 latach

Lekkie atomy



Wiążą się z jądrami atomowymi tworząc atomy wodoru i helu

Fotony nie oddziałują dłużej z elektronami: wszechświat staje się przezroczysty i świeci



Atom helu



Atom wodoru

po trzech minutach

Lekkie jądra



Protony i neutrony wiążą się tworząc jądra atomowe

Fotony są ciągle absorbowane i reemitowane, a Wszechświat jest nieprzezroczysty.

2 protony + 2 neutrony = jądro helu

1 proton = jądro wodoru

po 0,01 milisekundy

Protony i neutrony



Kwarki i gluony wiążą się tworząc protony i neutrony

Wszechświat ma rozmiar układu słonecznego

10¹²°C

po 10⁻¹² sekundy

Plazma kwarkowo gluonowa



oddziaływanie słabe

oddziaływanie elektromagnetyczne

oddziaływanie silne

oddziaływanie elektroslabe

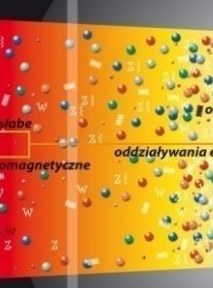
grawitacja

Wszechświat ma promień 300 milionów kilometrów

10¹⁵°C

po 10⁻²⁰ sekundy

po 10⁻³⁵ sekundy



oddziaływanie silne

oddziaływanie elektroslabe

grawitacja

grawitacja

Wszechświat ma wielkość jabłka

10²⁷°C

po 10⁻⁴³ sekundy

?



oddziaływanie silne

oddziaływanie elektroslabe

grawitacja

grawitacja

Wszechświat jest nieskończenie małym punktem

10³²°C

• Kwark

• Elektron

• Neutrino

• Foton

• Oddziaływanie słabe

• Oddziaływanie silne

• SUPERODDZIAŁYWANIA

WIELKI WYBUCH



Nasz projekt

- Nasz projekt współfinansowany ma dwa zasadnicze cele:
- Wynik ten (wraz z innymi tego typu) znalazł się na okładce Physical Review Letters w 2003 roku (najbardziej prestiżowe czasopismo naukowe w dziedzinie fizyki)
- Jest to pośredni dowód istnienia plazmy kwarkowo-gluonowej
- Oczywiście, takich sygnatur jest znacznie więcej
- Obecnie, 15 lat później, wiemy znacznie więcej na temat QGP



Czego nie wiemy?



1. Jak formował się wczesny Wszechświat?
2. Jakie są własności kwarków w stanie swobodnym?
(Czym jest „plazma kwarkowo-gluonowa”?)
3. Skąd się biorą masy cząstek i czemu są takie – jakie są?
4. Czy istnieje bozon Higgsa?
5. Gdzie się podziała antymateria?
6. Gdzie i czym jest niewidoczna część Wszechświata?
(„ciemna materia i „ciemna energia”)
7. Czy istnieją „skryte” wymiary przestrzeni?
8. Czy istnieją cząstki „supersymetryczne”?
9. Wiele innych...



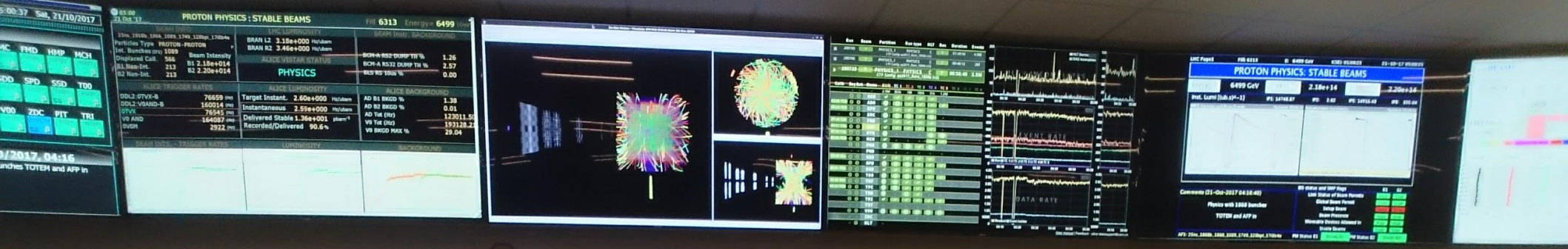


Czego nie wiemy?



1. Jak formował się wczesny Wszechświat?
2. Jakie są własności kwarków w stanie swobodnym?
(Czym jest „plazma kwarkowo-gluonowa”?)
3. Skąd się biorą masy cząstek i czemu są takie – jakie są?
4. Czy istnieje bozon Higgsa?
5. Gdzie się podziała antymateria?
6. Gdzie i czym jest niewidoczna część Wszechświata?
(„ciemna materia i „ciemna energia”)
7. Czy istnieją „skryte” wymiary przestrzeni?
8. Czy istnieją cząstki „supersymetryczne”?
9. Wiele innych...





ALICE A Large Ion Collider Experiment





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;

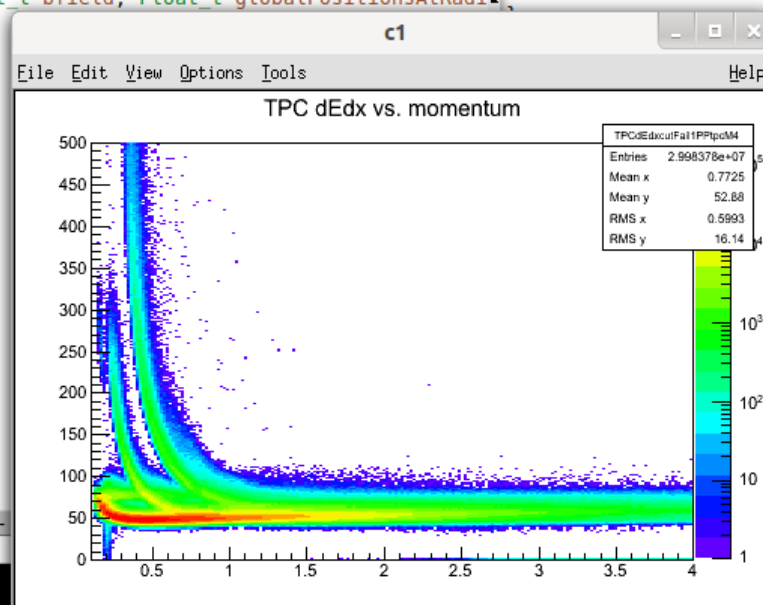
    void SetReadTrackType(ReadTrackType aType);

    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/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]
```

imost = 2;



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

Vague but exciting ...

26 lat temu ...

Tim Berners-Lee pisze słynny dokument, który stał się początkiem WWW (HTML)

W jego pierwszych akapitach pisze:

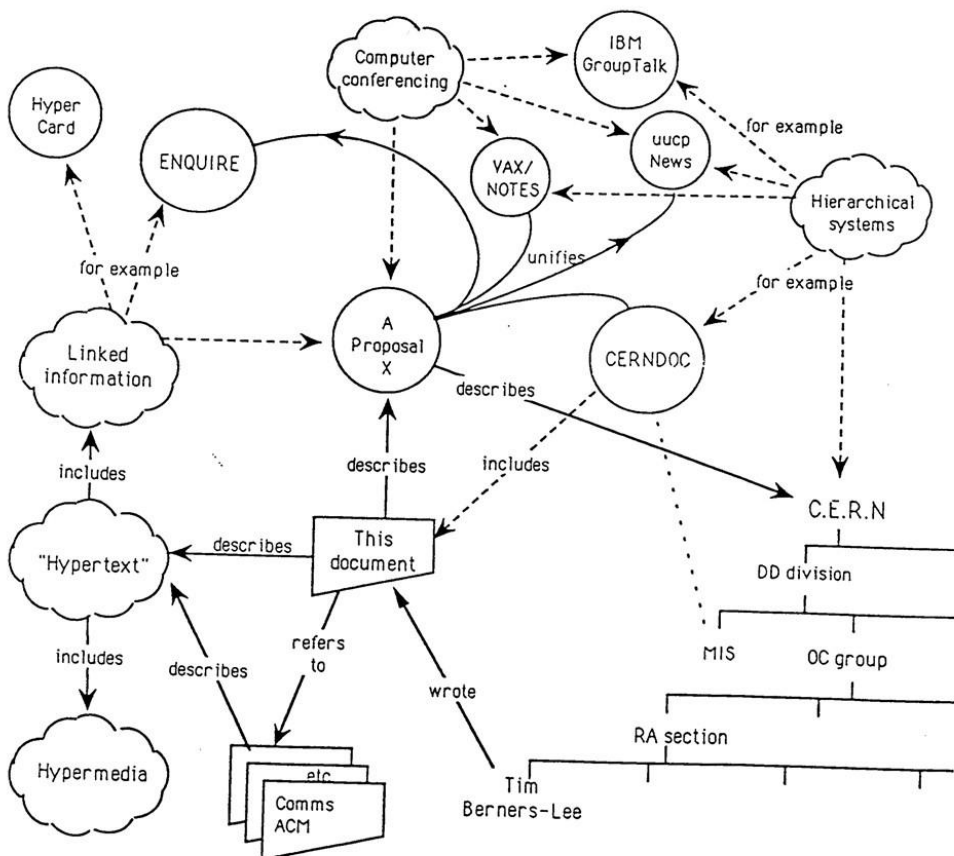
“Many of the discussions of the future at CERN **and the LHC era** end with the question - “Yes, but how will we ever keep track of such a large project?” This proposal provides an answer to such questions. Firstly, it discusses the problem of information access at CERN. Then, it introduces the idea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

Information Management: A Proposal

Abstract

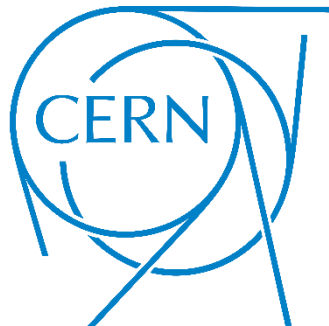
This proposal concerns the management of general information about accelerators and experiments at CERN. It discusses the problems of loss of information about complex evolving systems and derives a solution based on a distributed hypertext system.

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





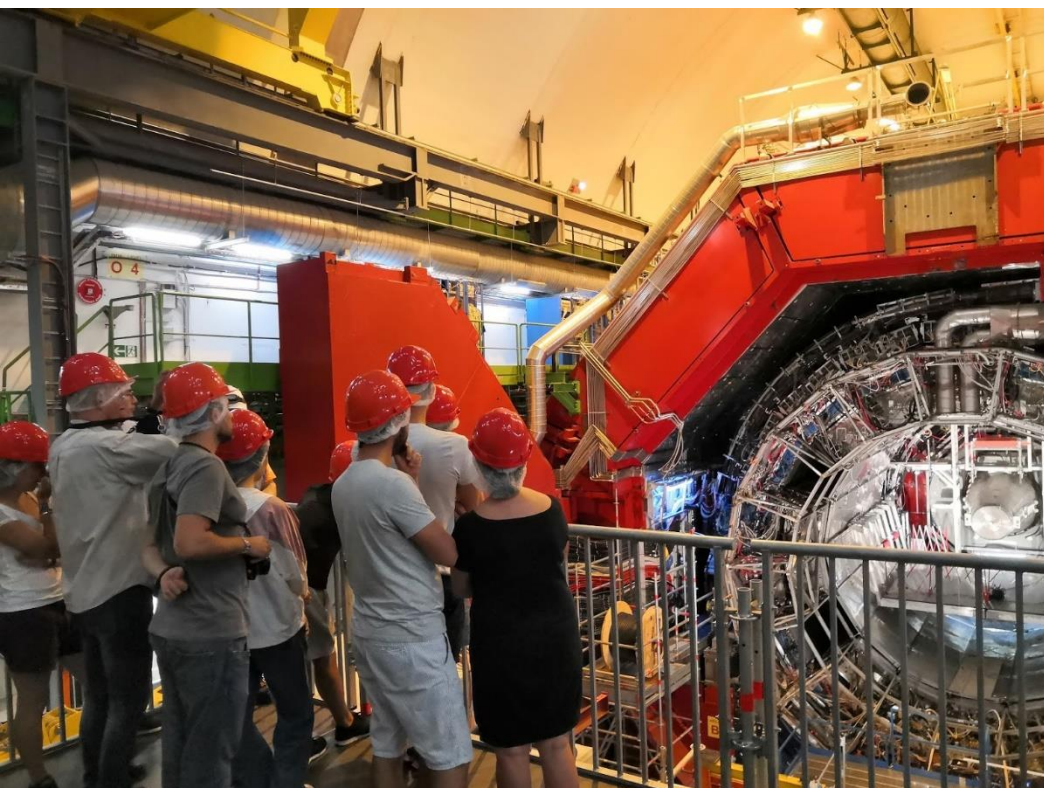
2016, 2019



CERN
OPENDAYS

14 - 15 / 09 / 2019

- ▶ Explore the future with us
- ▶ Explorez le futur avec nous





DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ

Zawsze chętnie odpowiem na pytania:

lgraczyk@cern.ch

lukasz.graczykowski@pw.edu.pl



Czego nie wiemy?



1. Jak formował się wczesny Wszechświat?
2. Jakie są własności kwarków w stanie swobodnym?
(Czym jest „plazma kwarkowo-gluonowa”?)
3. Skąd się biorą masy cząstek i czemu są takie – jakie są?
4. Czy istnieje bozon Higgsa?
5. **Gdzie się podziela antymateria?**
6. Gdzie i czym jest niewidoczna część Wszechświata?
(„ciemna materia i „ciemna energia”)
7. Czy istnieją „skryte” wymiary przestrzeni?
8. Czy istnieją cząstki „supersymetryczne”?
9. Wiele innych...



W Sci-Fi antymateria zasila napędy międzygwiazdne.



Star Trek
(Enterprise)

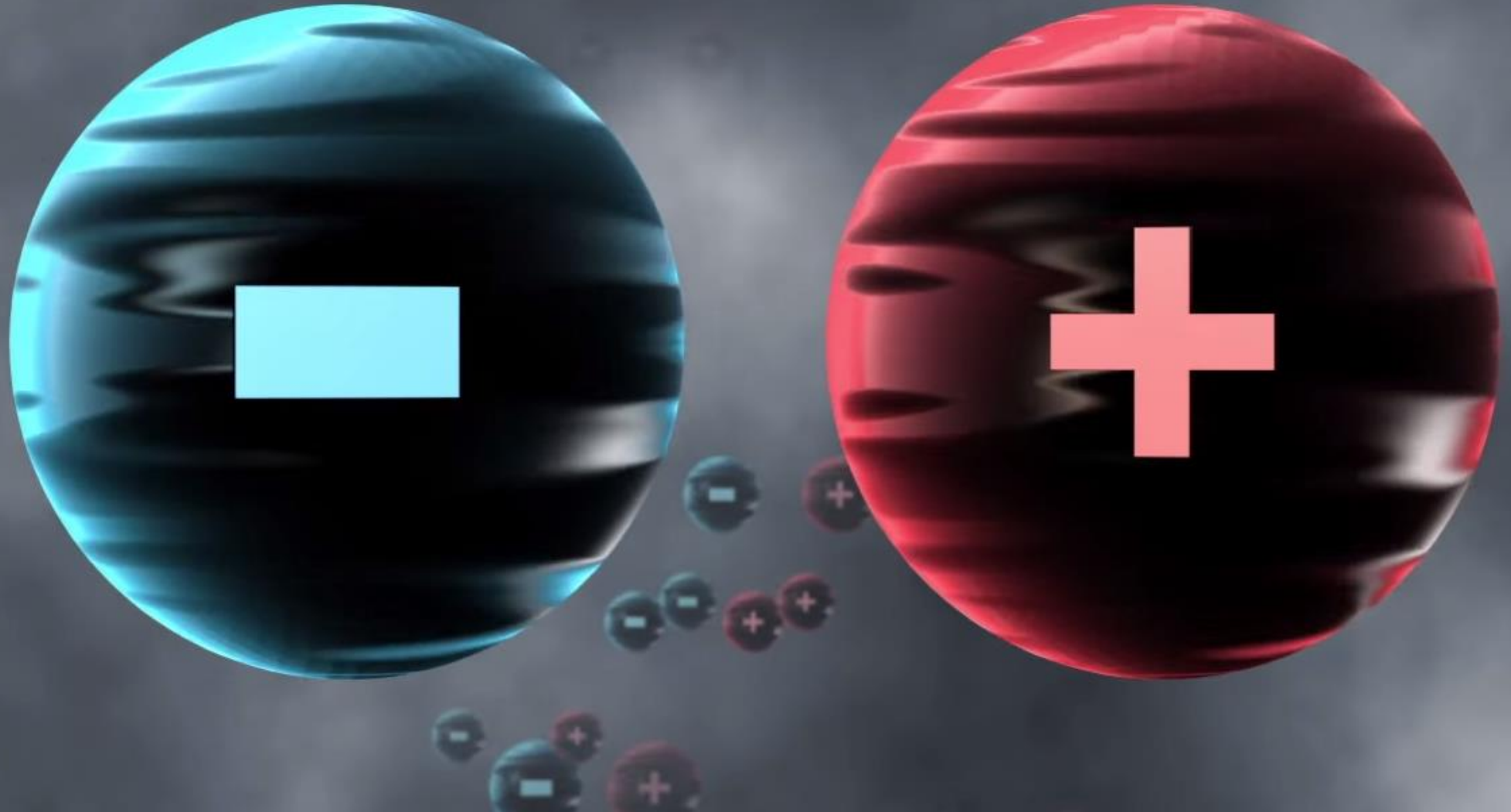


**Czym właściwie
jest antymateria?**

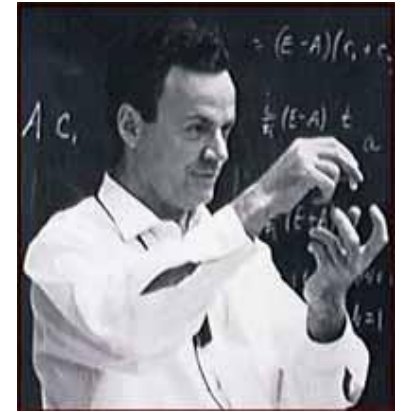
**Czy antymaterię
możemy
zaobserwować,
złapać i uwięzić?**



Antymateria = bliźniak materii o przeciwnym ładunku



Istnienie antymaterii
przewidziano prawie 100
lat temu!



1928

Równanie Diraca

$$(\beta mc^2 + c\vec{\alpha} \cdot \vec{p})\psi(x, t) = i\hbar \frac{\partial \psi(x, t)}{\partial t}$$

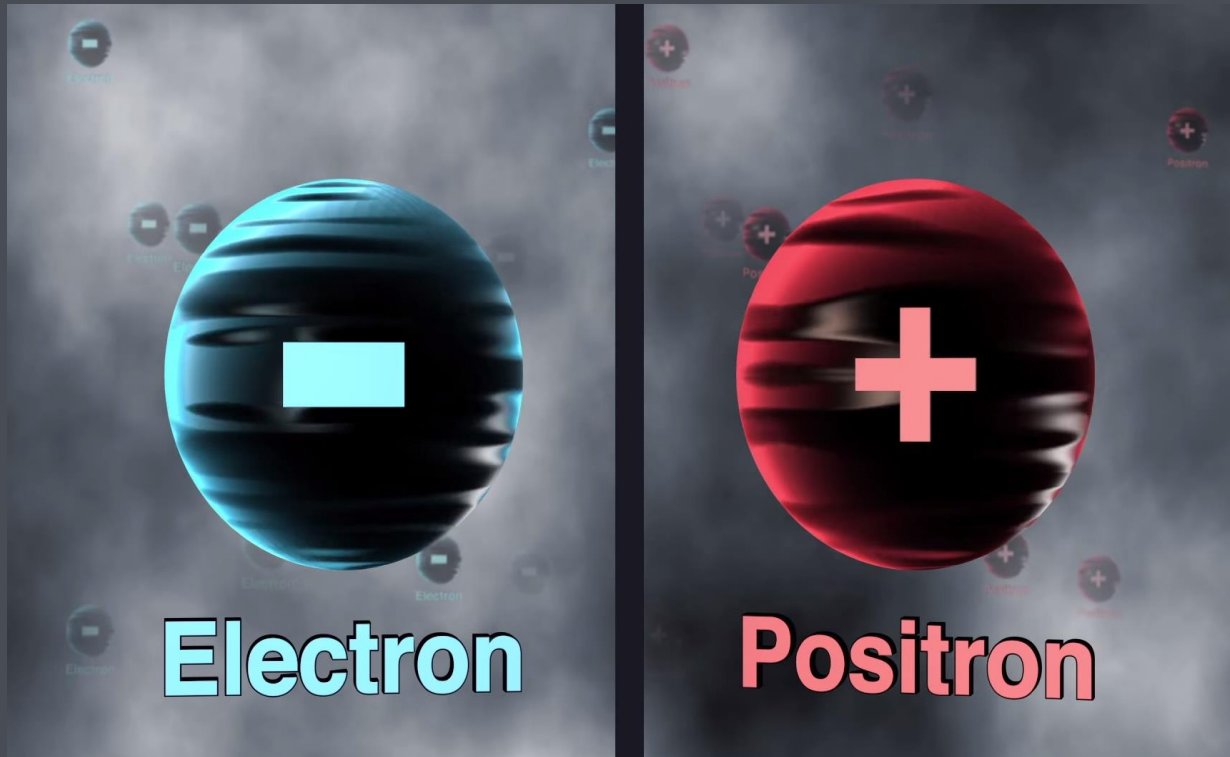
$$x^2 = 4$$

↓ ↓

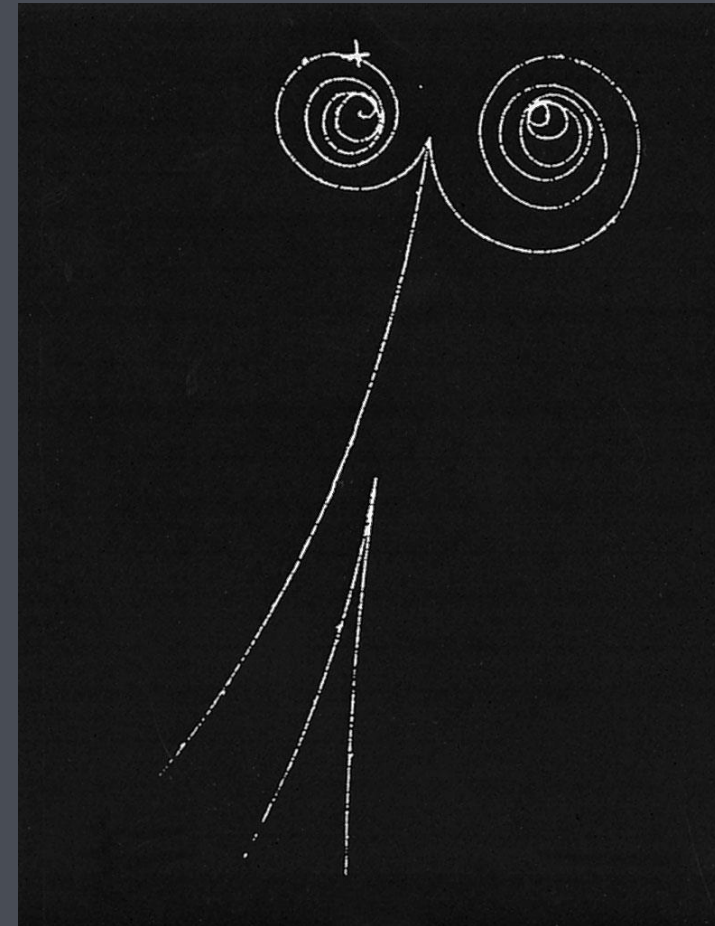
$$x = -2 \qquad x = 2$$



**I chwilę później faktycznie
cząstki antymaterii
znaleziono !**



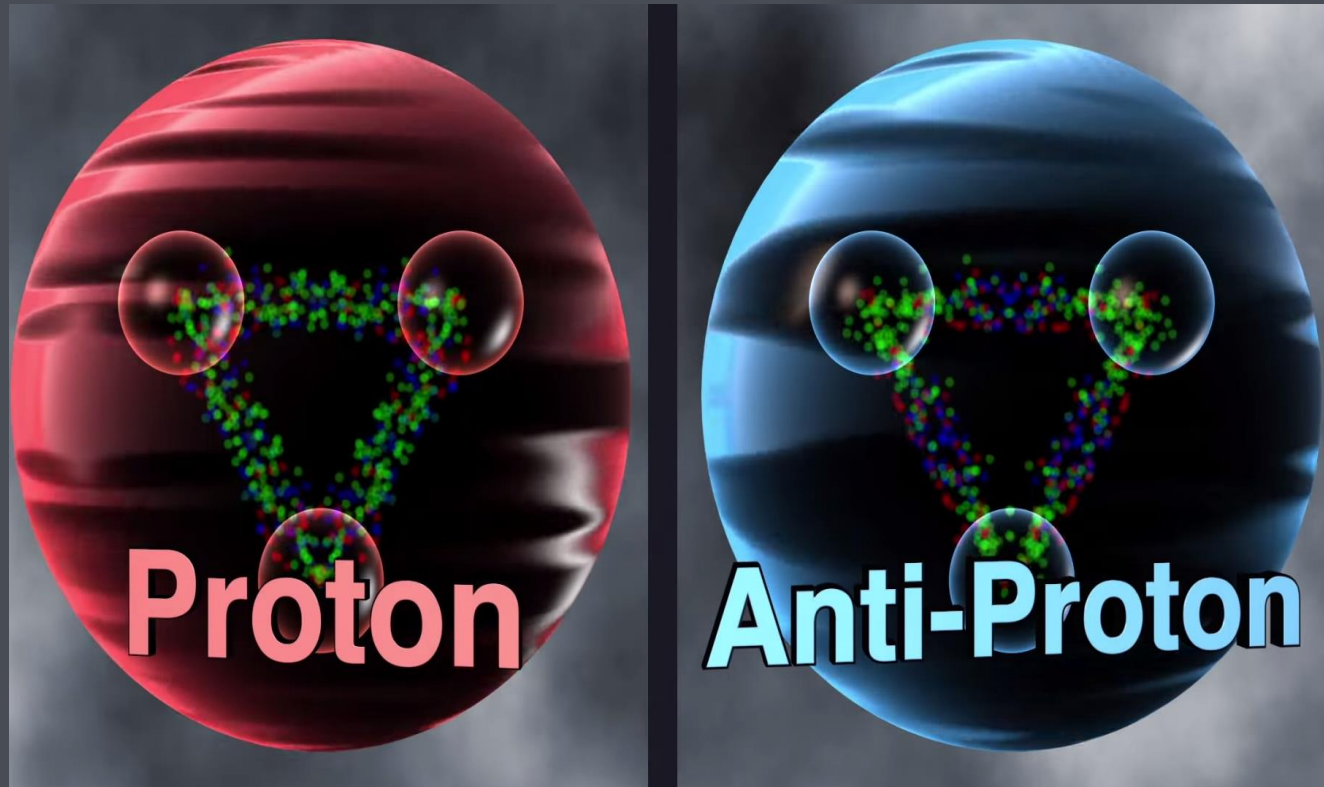
Znaleziono w 1932



**(w cząstkach
pochodzących z
promieniowania
kosmicznego)**

Znalezione też
antyprotony!

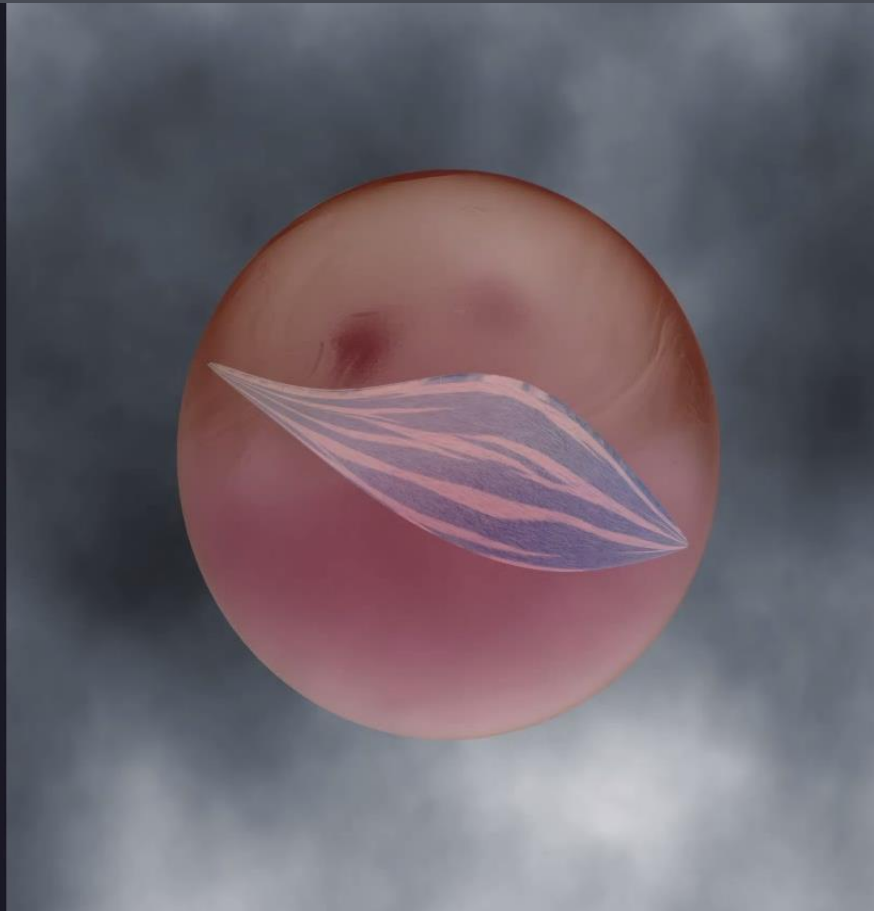
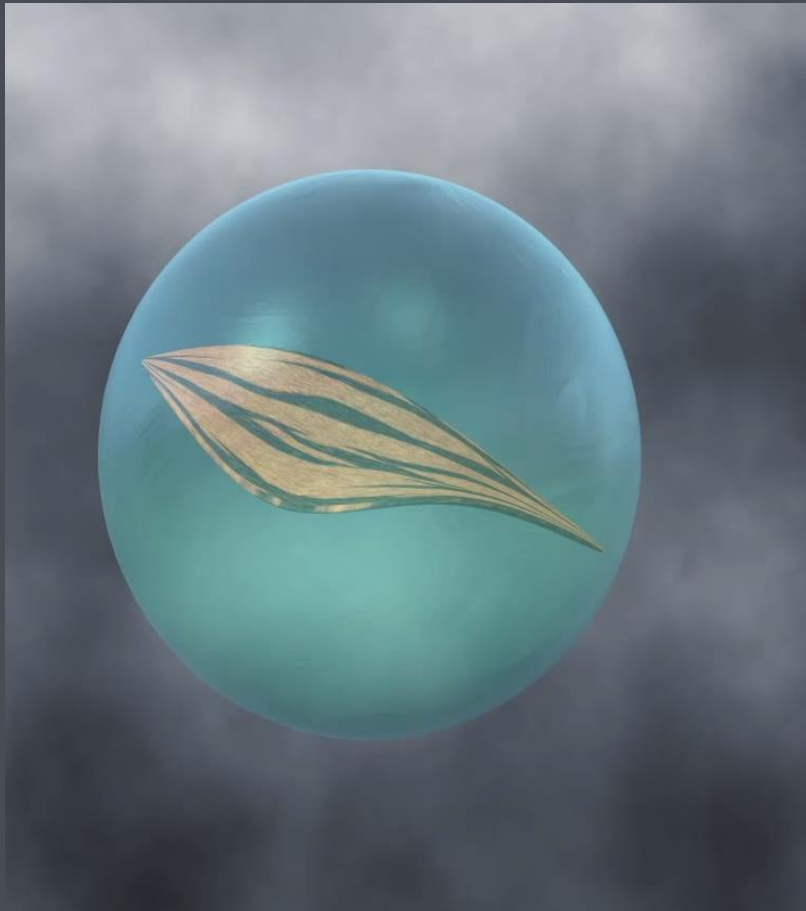
1955



Każde inne cząstki czy atomy z antymaterii też mogłyby istnieć.
Na przykład **anty-złoto**.



Istnieje ważna rzecz, którą
należy wiedzieć o
antymaterii.

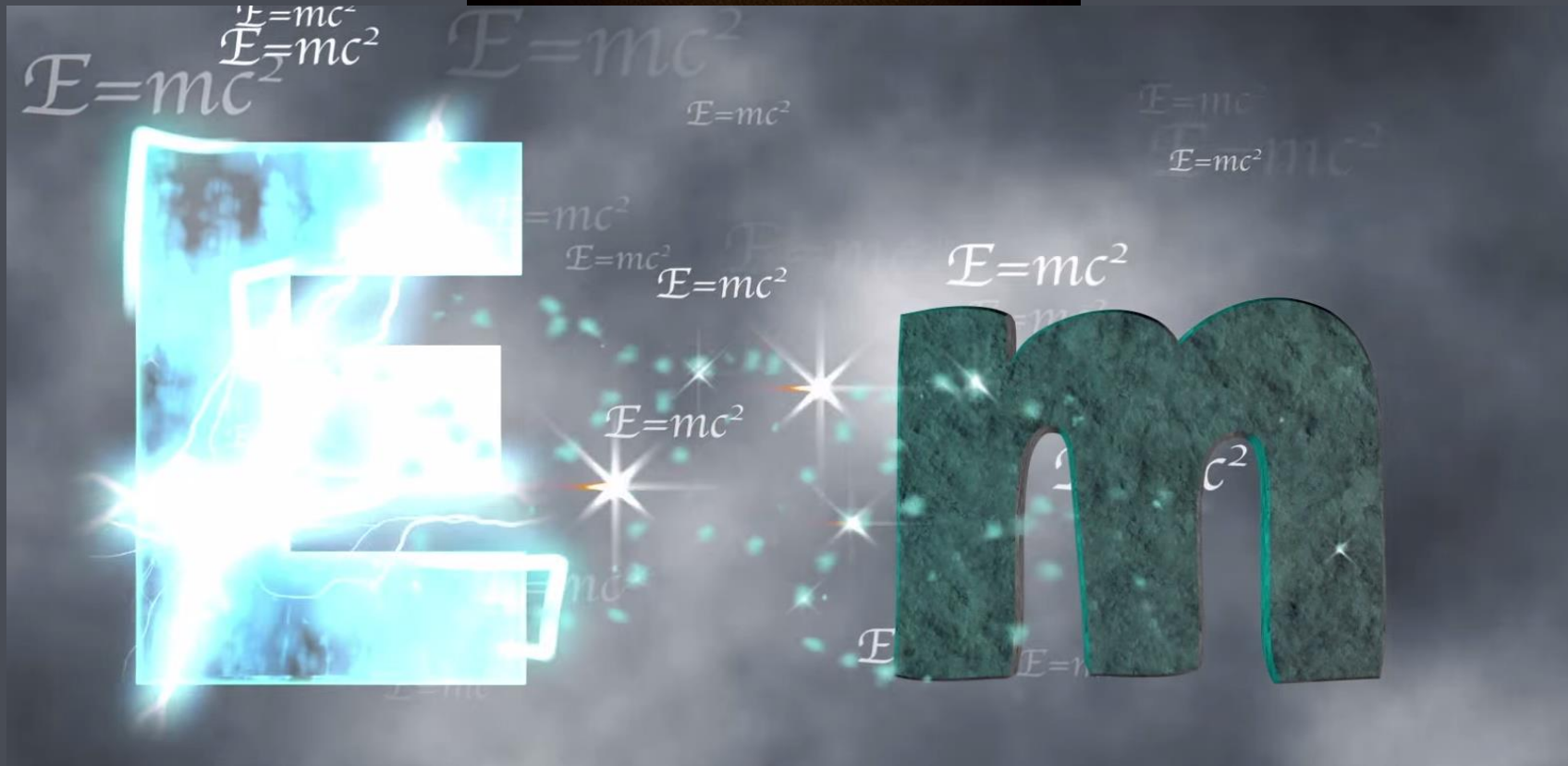


Jest tak idealną
kopia/przeciwieństwem materii, że
po zetknięciu z nią zamienia się w
czystą energię = **anihiluje!**



Zostaje czysta energia...

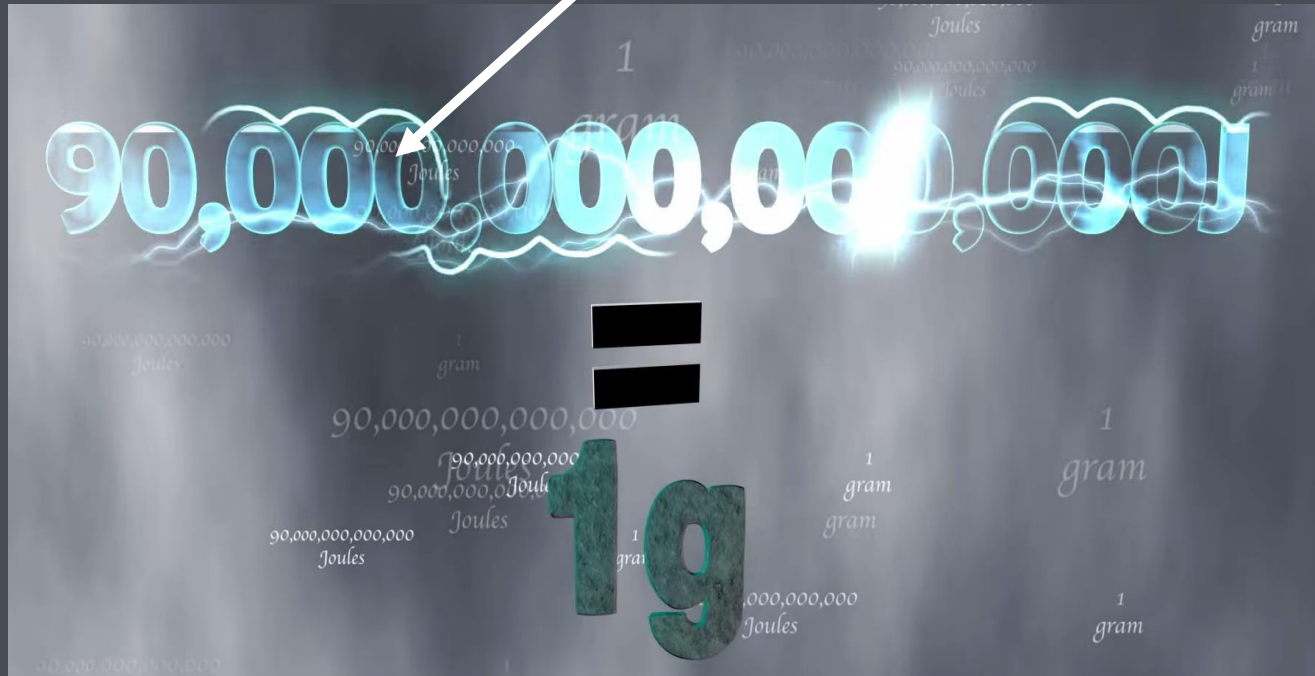
$$E=mc^2$$



Zgodnie ze sławnym równaniem:
energia to masa, a masa to energia.

Masa materii i antymaterii zamieniają się na czystą energię.

Tu jest 13 zer.

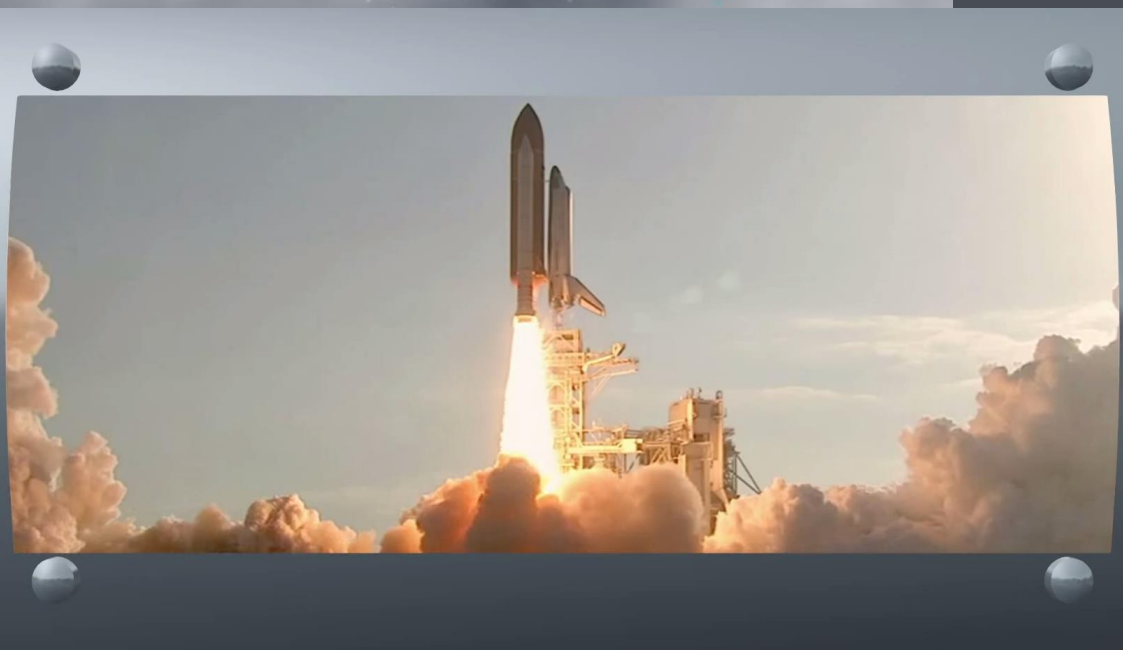


Bardzo dużo czystej energii!

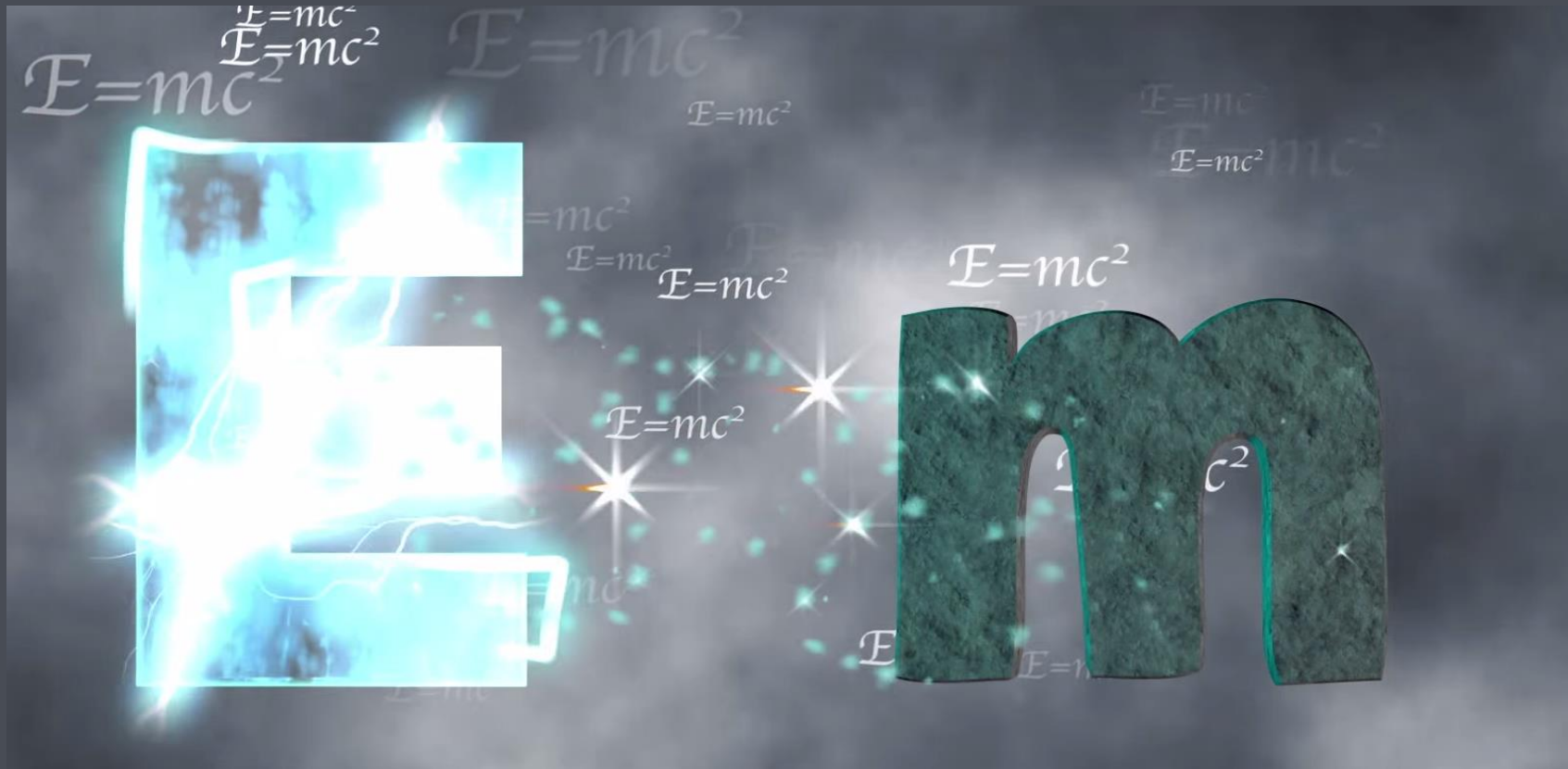


1 gram antymaterii:
okrażenie samochodem
1000 razy kuli ziemskiej

Albo wyprowadzenie
promu kosmicznego na
orbitę



Wiemy już, że mając antymaterię możemy wytwarzać energię.



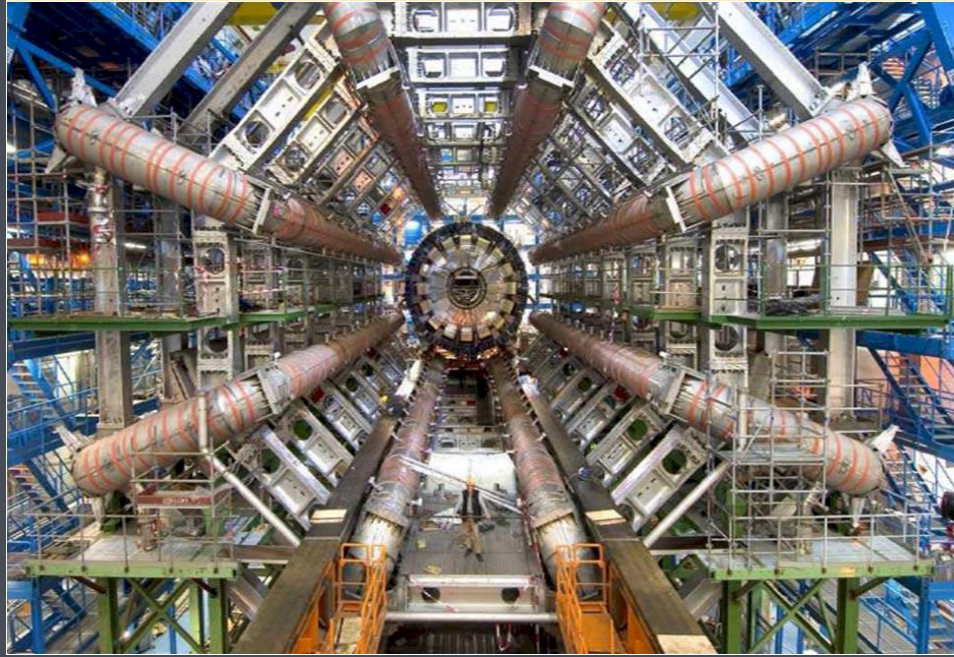
A można na odwrót? Z czystej energii wyprodukować antymaterię?

TAK

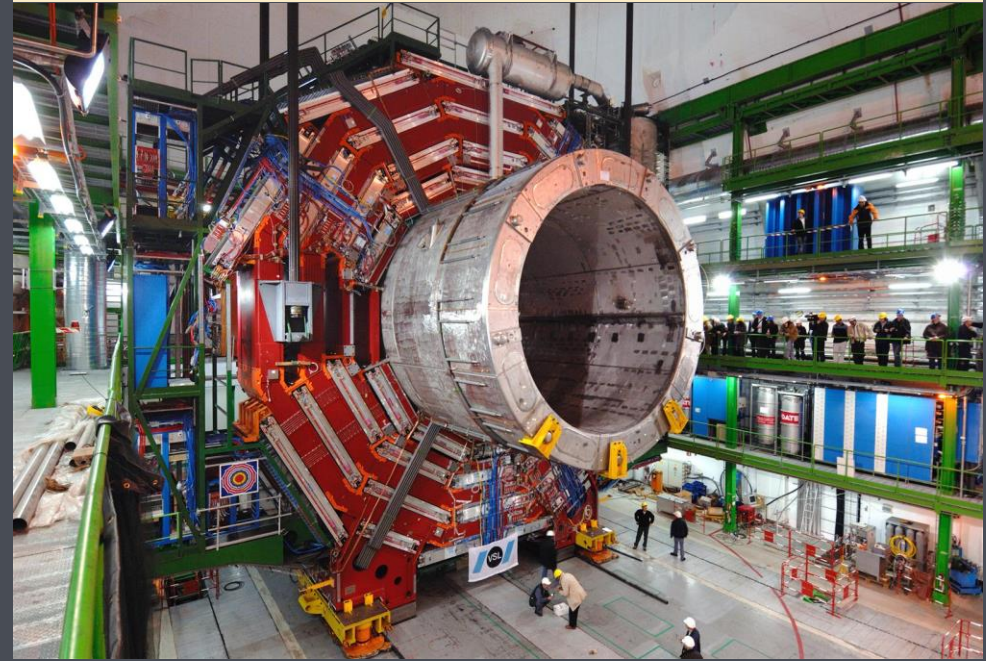
W dodatku materia i antymateria powinny się produkować w tej samej ilości!



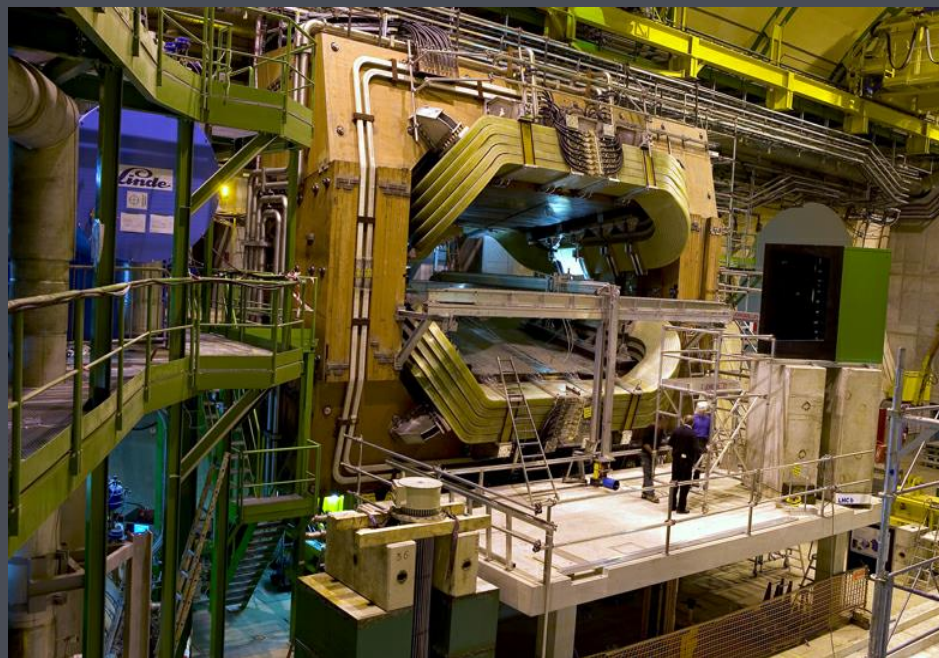
CERN – eksperyment ATLAS



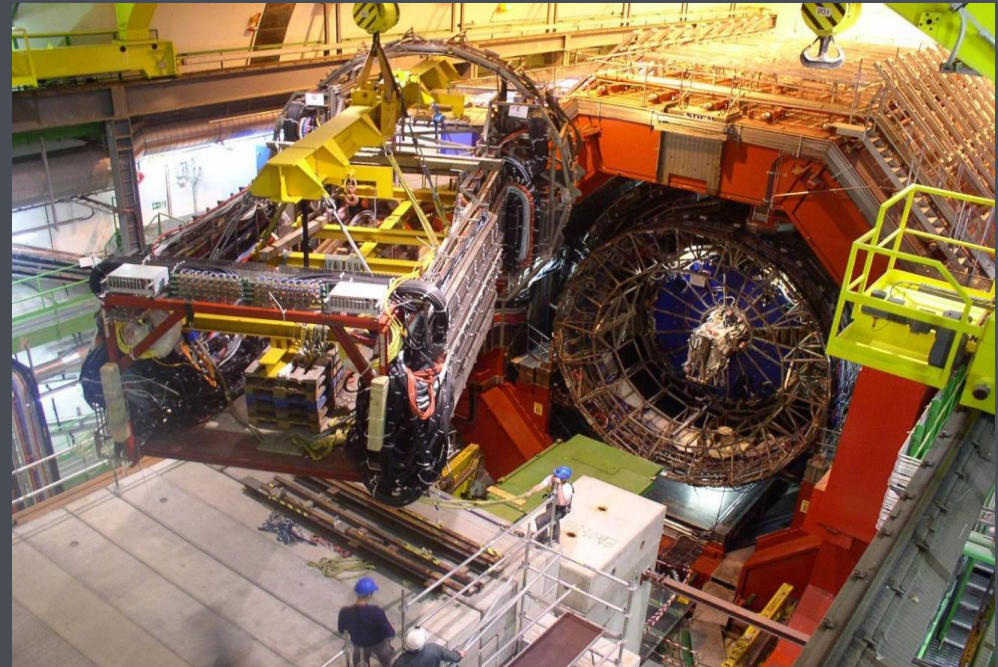
CERN – eksperyment CMS



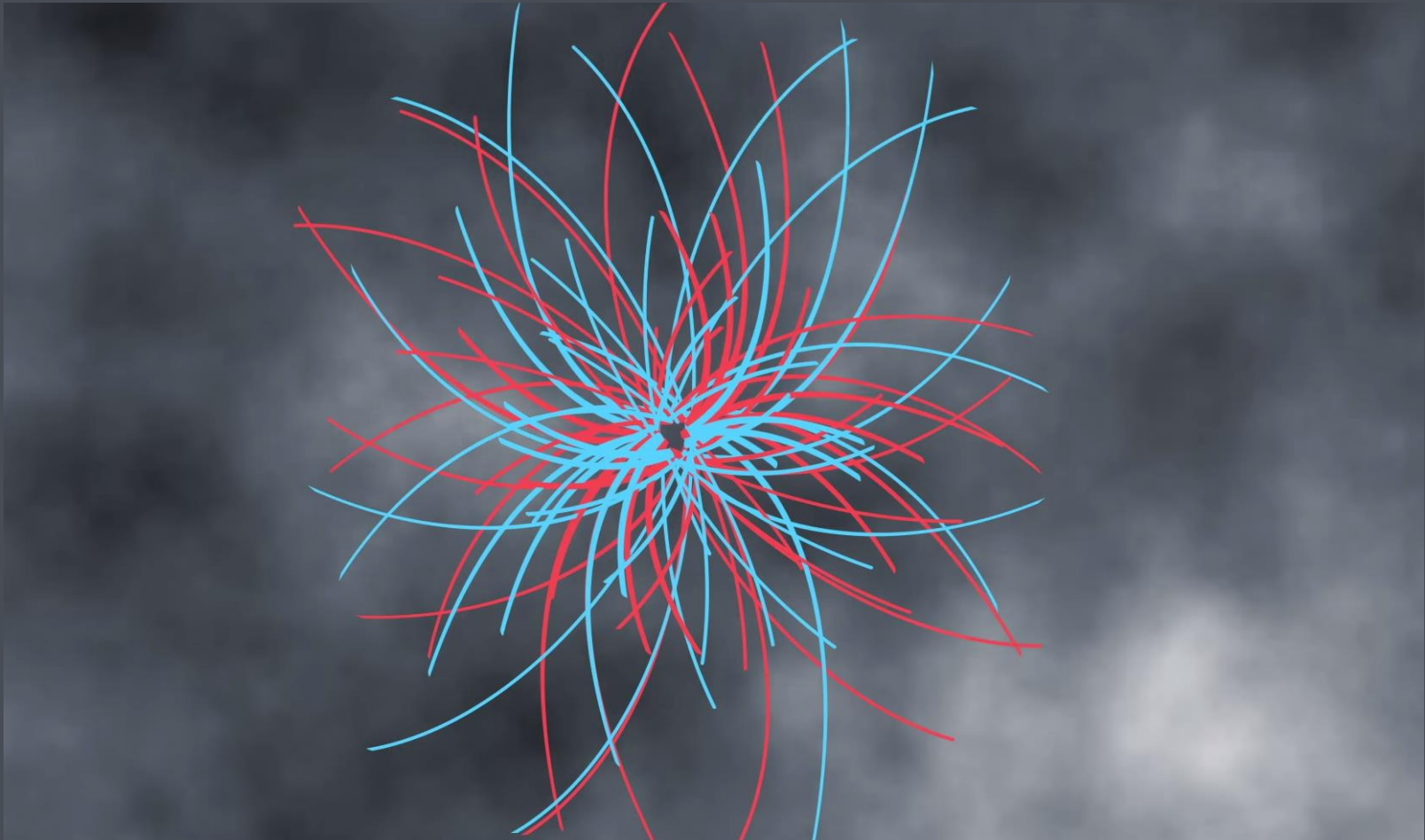
CERN – eksperyment LHCb

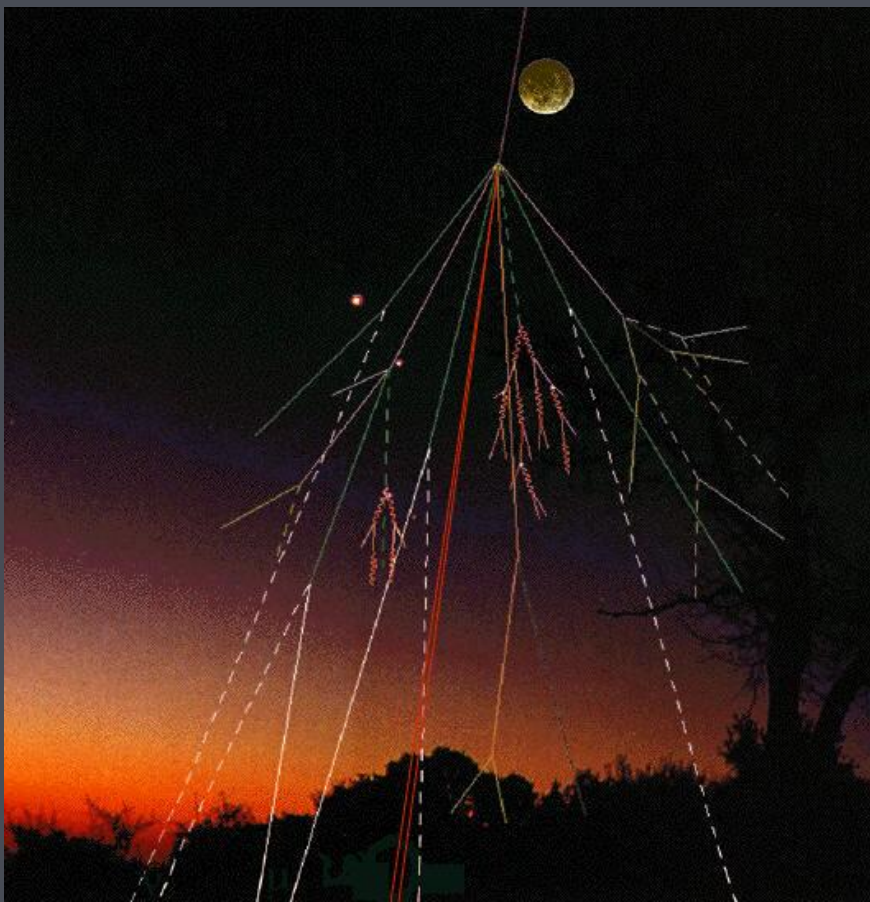


CERN – eksperyment ALICE



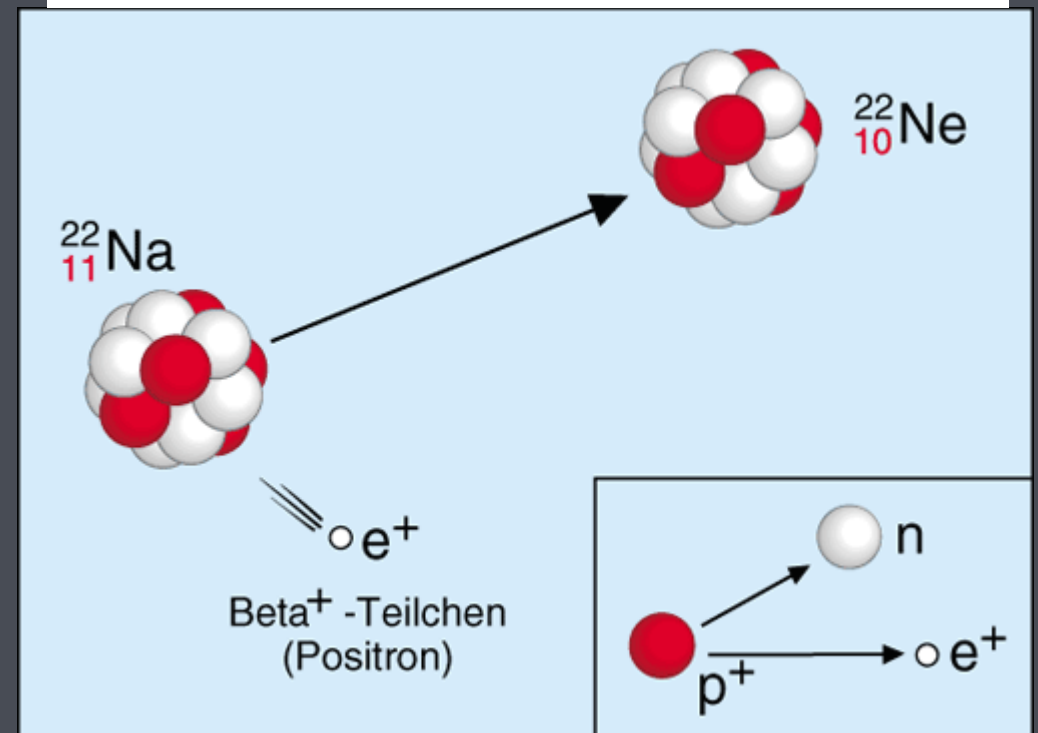
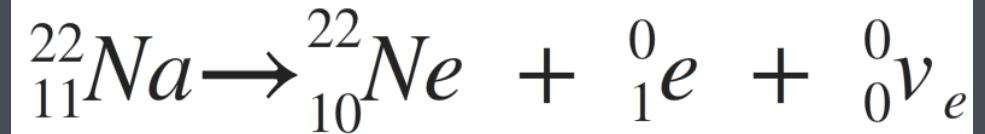
**I dokładnie to widzimy w LHC:
materię i antymaterię produkowaną w
tych samych ilościach.**





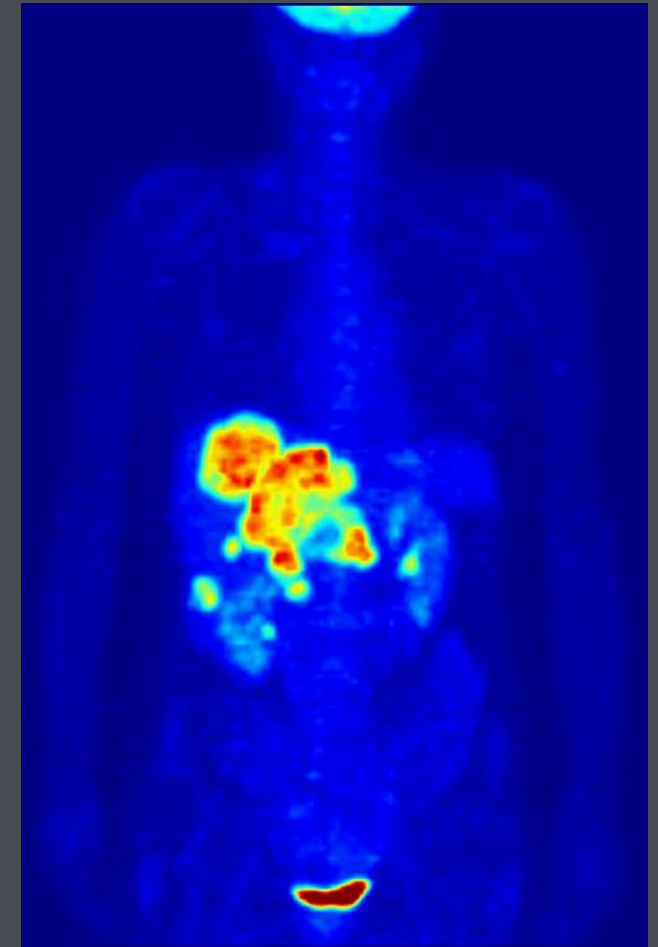
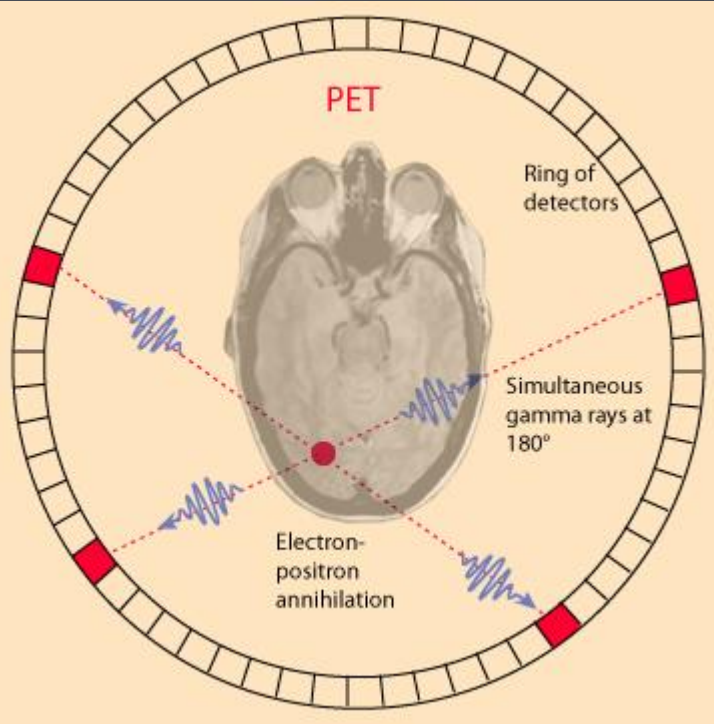
Antymaterię można spotkać
nie tylko w akceleratorach.

Mamy z nią do czynienia na co
dzień.



Rozpad
promieniotwórczy
pierwiastków - β^+

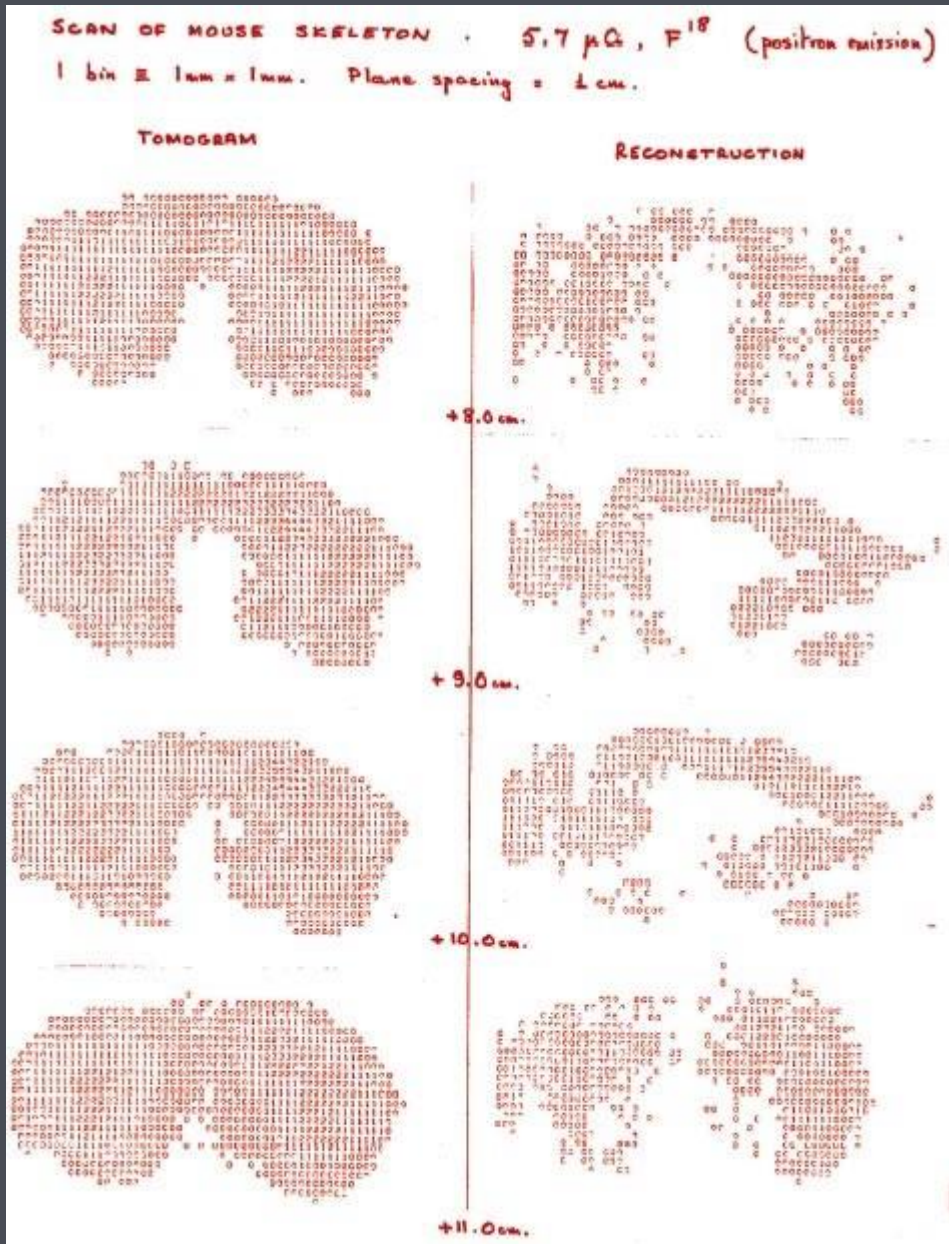
Używamy antymaterii w medycynie: PET (Positron Emission Tomography)



β^+ radioaktywny izotop ^{18}F
jako (radio)ligand w
cukrze FDG
(fluorodeoksyglukoza)



Pierwszy obraz PET powstał w CERN!

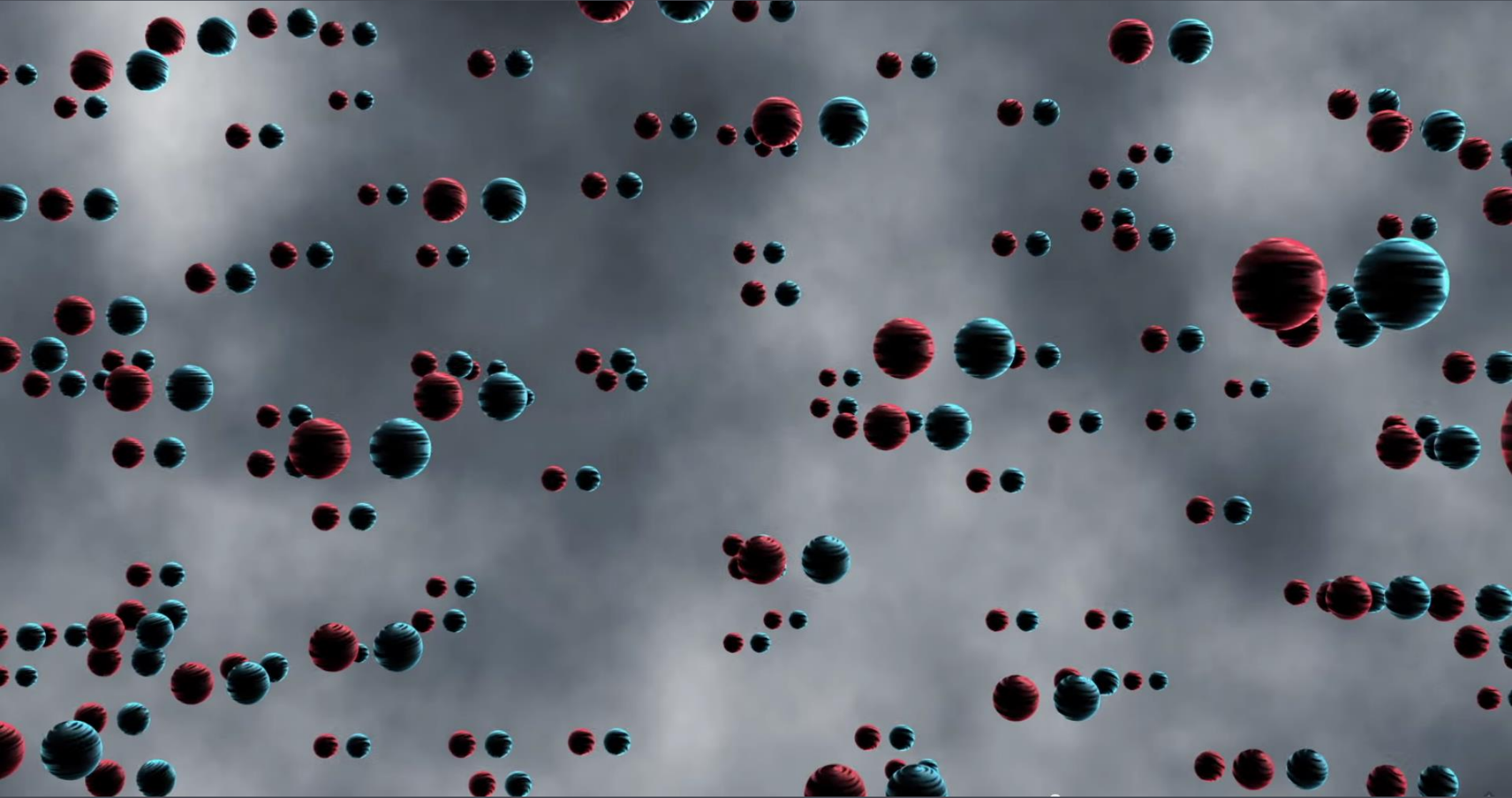


1977 – pierwszy obraz
PET szkieletu myszy

David Townsend, Alan
Jeavons (fizycy)

Marilena Bianchi
(radiobiolog)

Jeszcze jedno pytanie: skoro materia i antymateria są tak symetryczne, to dlaczego wszystko dookoła jest tylko z materii?



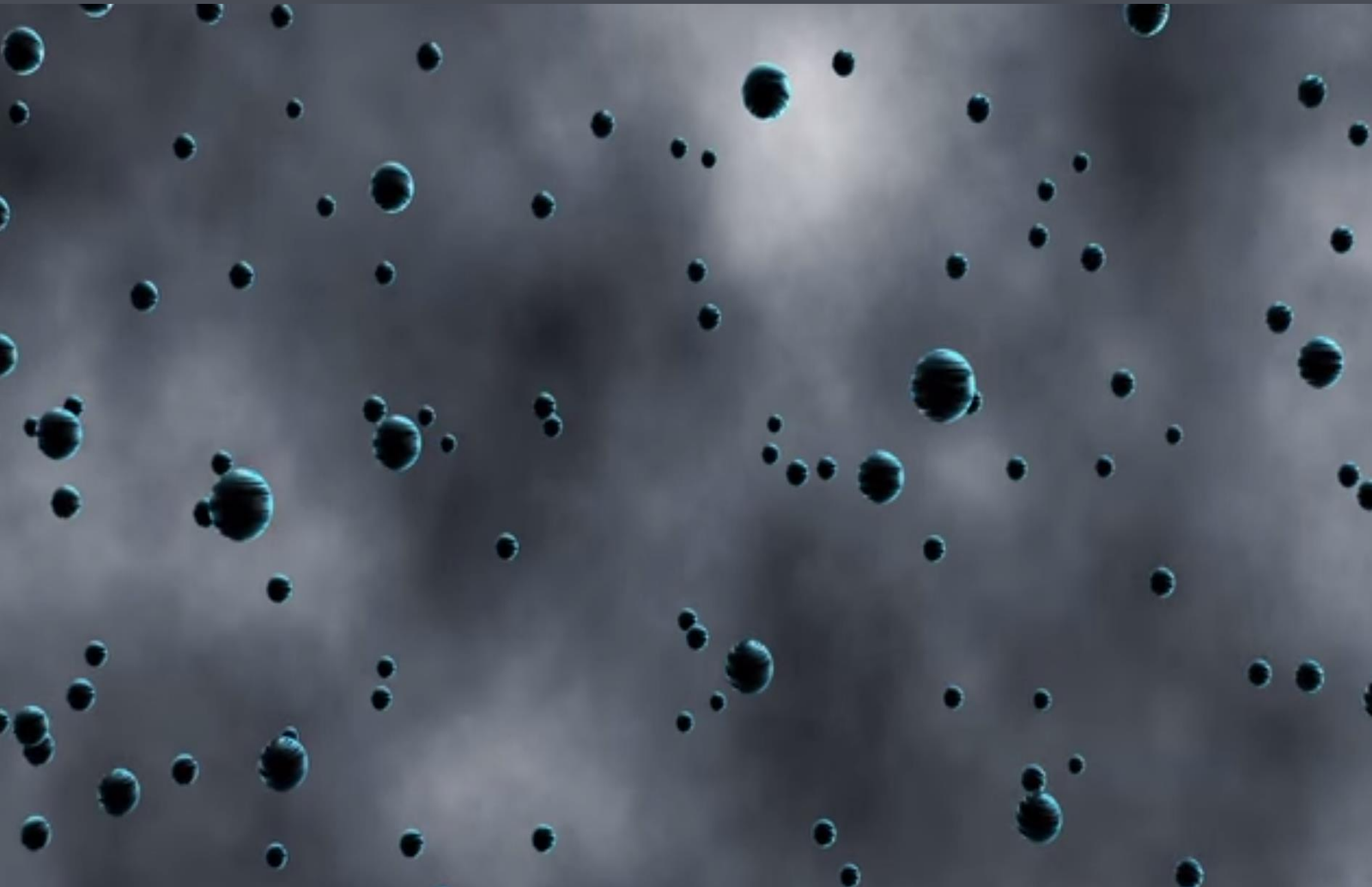
Wiemy, że w trakcie Wielkiego Wybuchu powstały obie!

Jeszcze jedno pytanie: skoro materia i antymateria są tak symetryczne, to dlaczego wszystko dookoła jest tylko z materii?

.0000001

Wiemy, że w trakcie Wielkiego Wybuchu powstały obie!

Skąd ta nadwyżka? Dlaczego została tylko materia...?





Czego nie wiemy?



1. Jak formował się wczesny Wszechświat?
2. Jakie są własności kwarków w stanie swobodnym?
(Czym jest „plazma kwarkowo-gluonowa”?)
3. Skąd się biorą masy cząstek i czemu są takie – jakie są?
4. Czy istnieje bozon Higgsa?
5. Gdzie się podziała antymateria?
6. Gdzie i czym jest niewidoczna część Wszechświata?
(„ciemna materia i „ciemna energia”)
7. Czy istnieją „skryte” wymiary przestrzeni?
8. Czy istnieją cząstki „supersymetryczne”?
9. Wiele innych...



2013 NOBEL PRIZE IN PHYSICS

François Englert
Peter W. Higgs



© The Nobel Foundation. Photo: Lovisa Engblom.

Nagroda Nobla z Fizyki 2013

Sztokholm, 8.10.2013



Problemem istnienia masy i właściwości bozonu Higgsa zajmują się eksperymenty **ATLAS** oraz **CMS**.

Dlaczego niektóre cząstki są bardzo ciężkie a inne nie mają masy w ogóle? Odpowiedź na tak zadane pytanie daje tak zwany mechanizm Higgsa. Według tej teorii cała przestrzeń wypełniona jest tzw. polem Higgsa, przez oddziaływanie z którym cząstki uzyskują masę.

Cząstki, które oddziałują silnie z polem Higgsa są ciężkie, natomiast te które oddziałują słabo są lekkie.

Pole Higgsa ma przynajmniej jedną nową cząstkę z tym związaną – bozon Higgsa.

Cząstka Higgsa – „Święty Graal” współczesnej nauki



Problemem istnienia masy i właściwości bozonu Higgsa zajmują się eksperymenty **ATLAS** oraz **CMS**.

Dlaczego r
Odpowiedz
teorii cała
którym cza

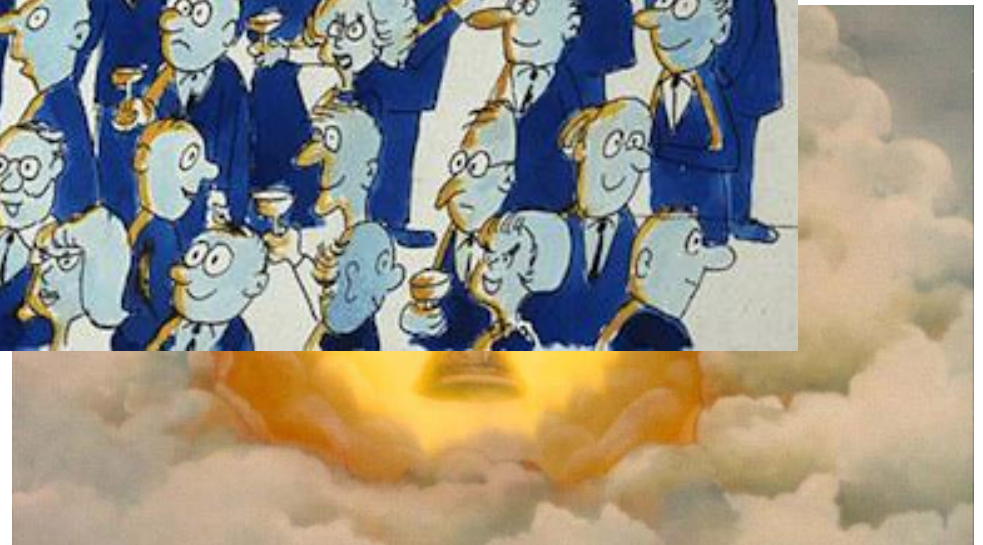
Cząstki, kt
oddziałują

Pole Higgsa

g tej
e z

ggsa.

Cząstka
Graal



Problemem istnienia masy i właściwości bozonu Higgsa zajmują się eksperymenty **ATLAS** oraz **CMS**.

Dlaczego
Odpowied
teorii cała
którym cz

Cząstki, k
oddziałują

Pole Higgs

g tej
e z

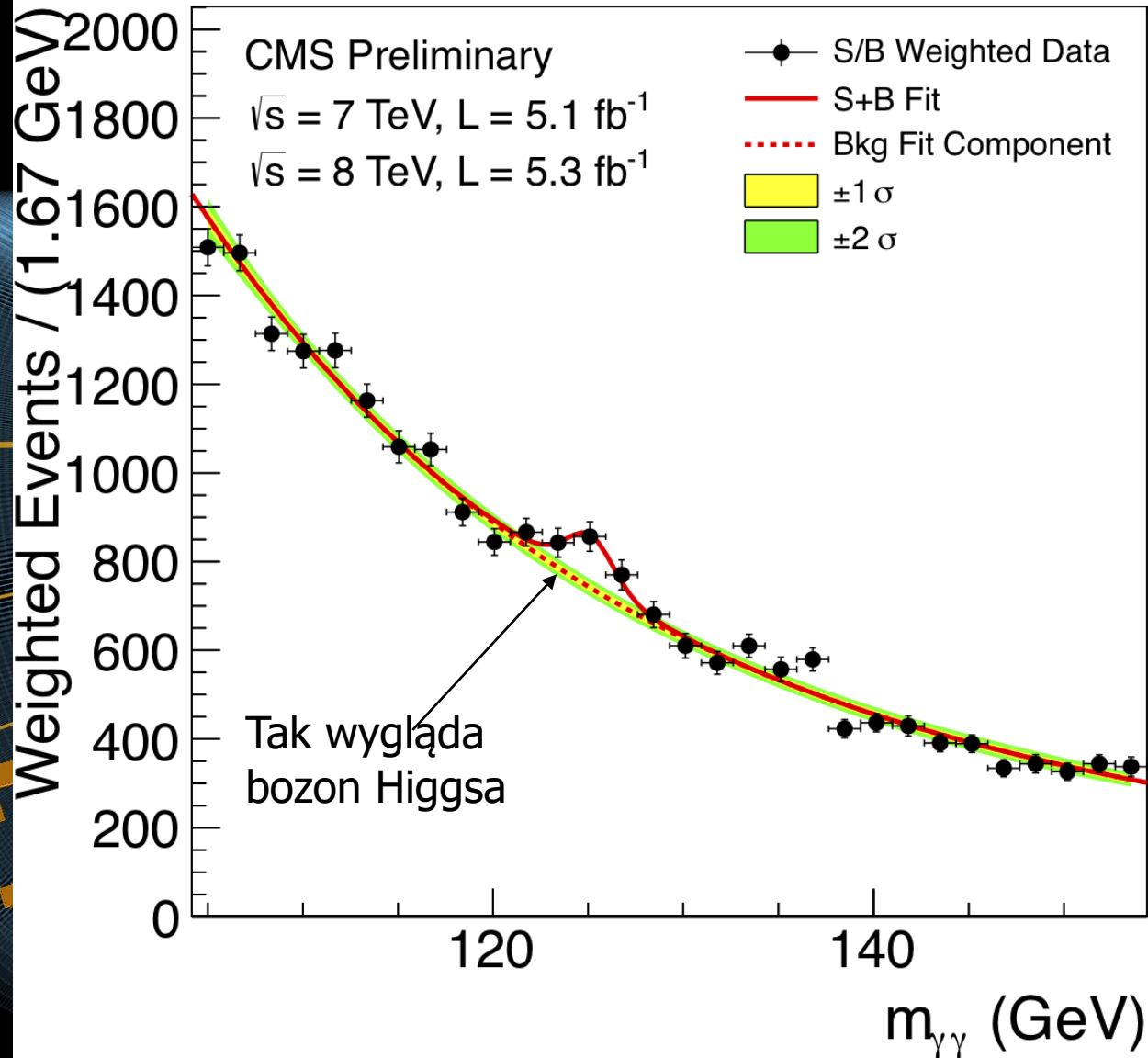
Higgsa.

Cząstk
Graal

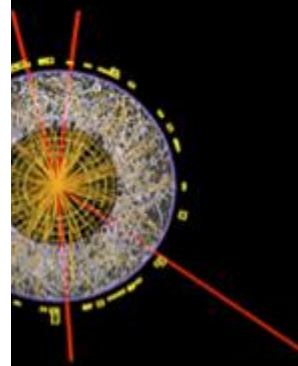
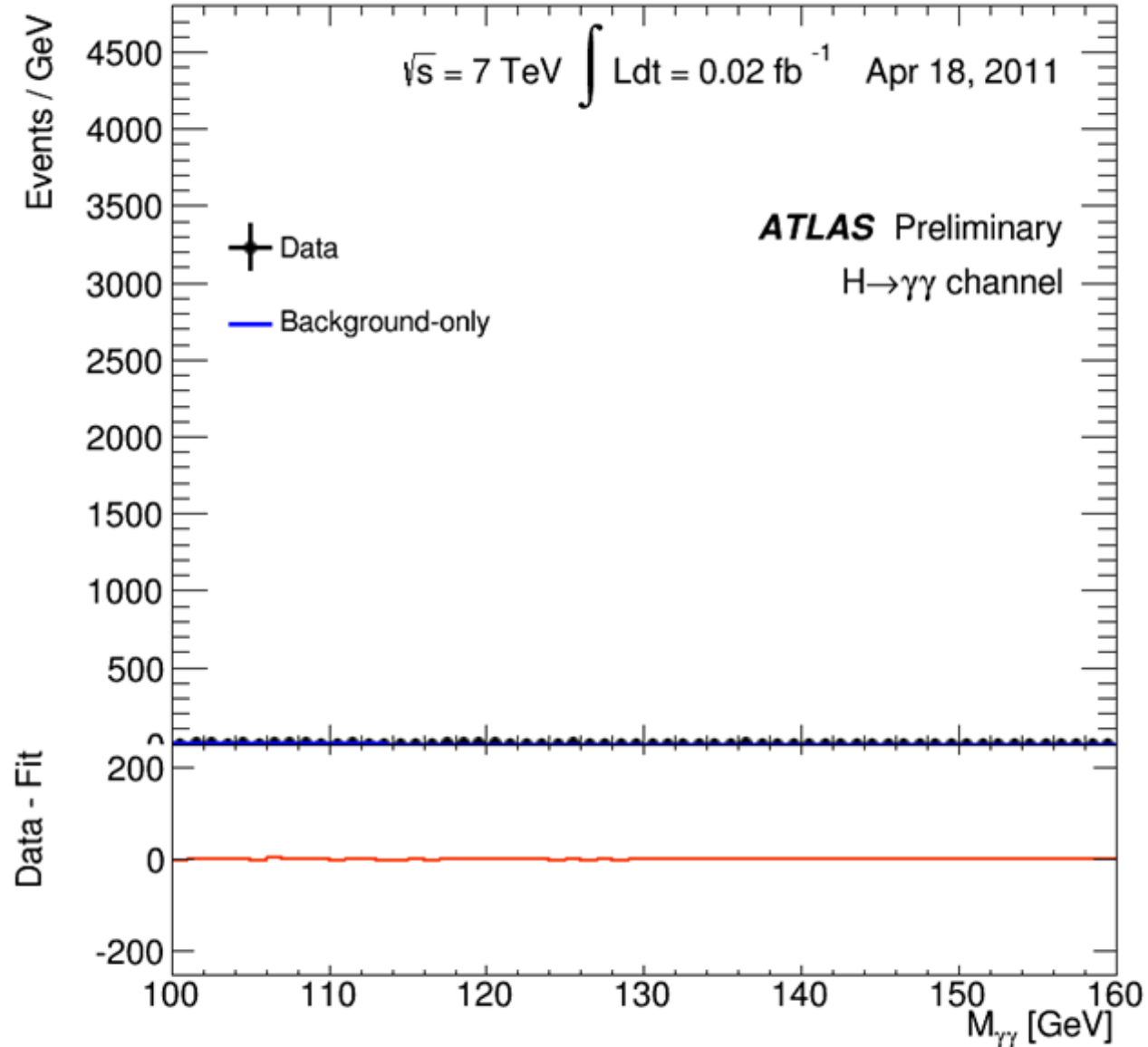




Jak wygląda Higgs?

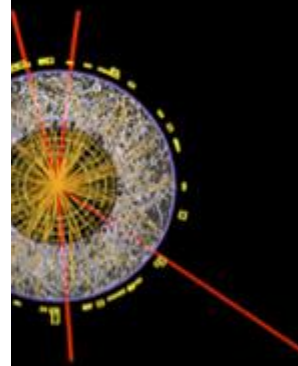
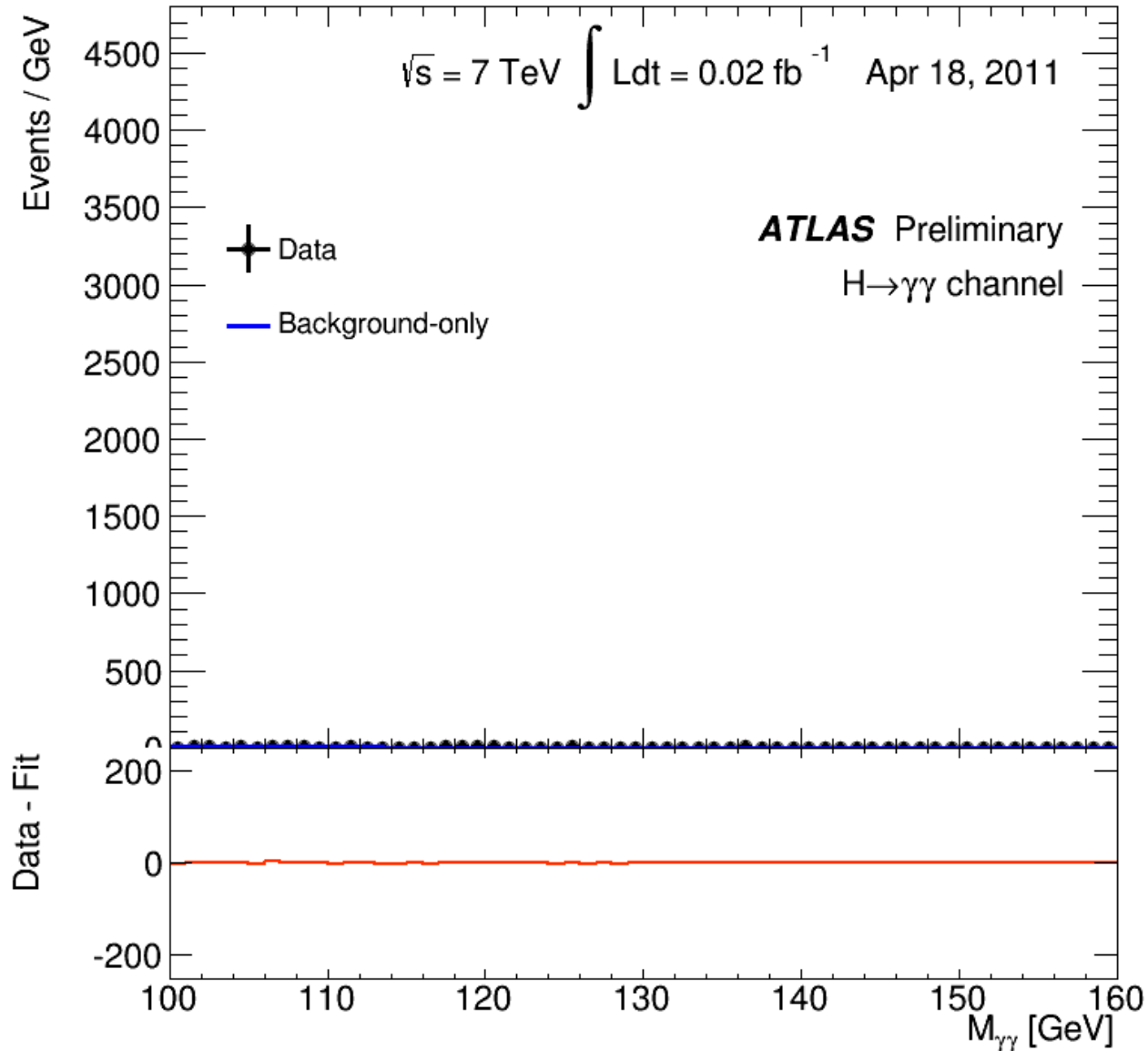


Poszukiwanie Higgsa



Run: 204769
Event: 71902630
Date: 2012-06-10
Time: 13:24:31 CEST

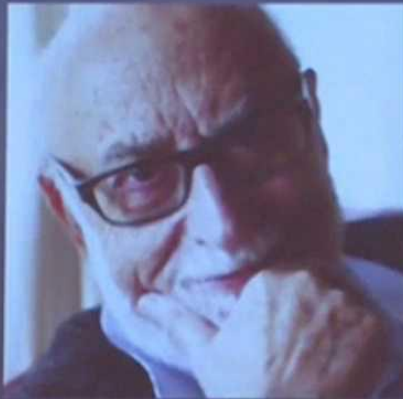
Poszukiwanie Higgsa



Run: 204769
Event: 71902630
Date: 2012-06-10
Time: 13:24:31 CEST



The Nobel Prize in Physics 2013



François Englert
Université Libre de Bruxelles, Belgium



Peter W. Higgs
University of Edinburgh, UK

"För den teoretiska upptäckten av en mekanism som bidrar till förståelsen av massans ursprung hos subatomära partiklar, och som nyligen, genom upptäckten av den förutsagda fundamentala partikeln, bekräftats av ATLAS- och CMS-experimenten vid CERN:s accelerator LHC."

"For the theoretical discovery of a mechanism that contributes to our understanding of the origin of mass of subatomic particles, and which recently was confirmed through the discovery of the predicted fundamental particle, by the ATLAS and CMS experiments at CERN's Large Hadron Collider."

Nagroda Nobla z Fizyki 2013 – Sztokholm, 8.10.2013

François Englert (Université Libre de Bruxelles, Bruksela, Belgia)

Peter W. Higgs (University of Edinburgh, Edynburg, Wielka Brytania)

„Za teoretyczne odkrycie mechanizmu, który przyczynia się do zrozumienia pochodzenia mas cząstek elementarnych, i który został niedawno potwierdzony poprzez odkrycie przewidywanej cząstki elementarnej dokonane przez grupy ATLAS i CMS w LHC (CERN).”

Science Fiction

Badamy Higgsa → dzięki temu nauczyli ekranować pole Higgsa (elektromagnetyczne już potrafimy - tzw. niewidzialność optyczna) → moglibyśmy stworzyć samochody potrafiące przyspieszać do ogromnych prędkości w ułamkach sekund!



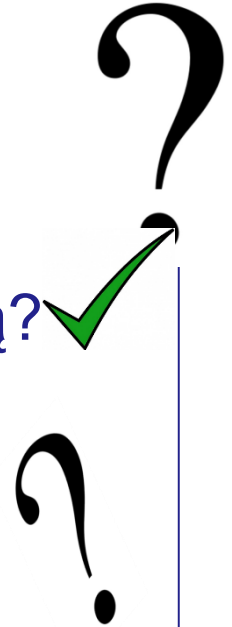
Odkrywamy Higgsa → rozumiemy skąd się bierze masa → potrafimy kontrolować bezwładność → wypadki samochodowe lub lotnicze przestają być groźne bo wyeliminujemy obrażenia związane z gigantycznymi przeciążeniami.



Czego nie wiemy?



1. Jak formował się wczesny Wszechświat?
2. Jakie są własności kwarków w stanie swobodnym?
(Czym jest „plazma kwarkowo-gluonowa”?)
3. Skąd się biorą masy cząstek i czemu są takie – jakie są?
4. Czy istnieje bozon Higgsa? ✓
5. Gdzie się podziała antymateria?
6. Gdzie i czym jest niewidoczna część Wszechświata?
(„ciemna materia i „ciemna energia”)
7. Czy istnieją „skryte” wymiary przestrzeni?
8. Czy istnieją cząstki „supersymetryczne”?
9. Wiele innych...



***Najważniejsze jest, że wiemy,
że wiele jeszcze nie wiemy.***

***Czyż to nie wspaniałe,
że tyle jest jeszcze do odkrycia !!!***



Medical scanners



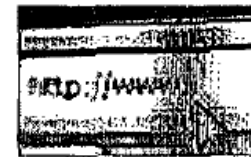
Cern has been at the forefront of the technology behind PET and MRI medical imaging machines since building prototype scanners with Geneva's hospital in the 1970s. Electronics developed for Cern's atom-smashing Large Hadron Collider are offering fresh promise of combined PET/MRI scanners that would provide more detailed images of the human body.

Touch screens



More than three decades before the technology became ubiquitous, the first touch screen control pad was developed at Cern in the 1970s by Bent Stumpe, a Danish engineer. He had been asked to come up with a system to replace the thousands of buttons, knobs and switches needed to operate Cern's Super Proton Synchrotron particle accelerator.

World wide web



Tim Berners-Lee developed the world wide web in 1989 as part of a Cern project to improve information sharing between its network of 8,000 scientists working in universities and institutes around the world. The achievement was celebrated in Mr Berners-Lee's appearance in the opening ceremony of the London Olympics.

Greater commercial returns sought from Cern

By Andrew Bounds, North of England Correspondent

Britain is spearheading an effort to extract bigger commercial returns from the \$8bn invested by the world's governments in Cern, the European physics research laboratory.

Cern is best known as home to the Large Hadron Collider, the most powerful atom smasher, where scientists in July discovered the Higgs boson "God particle", which explains matter.

Its research also helped create the world wide web and MRI scanning since its inception in 1954.

Yet, the UK believes more can be done to harness commercial value.

"We want to get technology from inside the ivory tower into the economy,"

says John Womersley, chief executive of the Science and Technology Facilities Council, the UK research body. "Cern understands this is something it needs to get better at."

Cern and the STFC are opening a competition this week for five companies to receive funding and technical help from scientists at the laboratory near Geneva.

Prof Womersley said the collaboration would help develop findings from Cern's atom-smasher in a way that "can impact on people's lives".

He said small companies were often best at exploiting new technology, noting how touch screens were first used at Cern but not commercialised by it.

Winning companies will receive £40,000 funding, up

to 40 hours technical support from Cern and 40 hours from the STFC, access to intellectual property at preferential rates and cheap incubator space at Sci-Tech Daresbury, the council's innovation campus near Warrington.

Paul Vernon, head of campus development at STFC, said possible spin-

offs could include airport security scanners - as Cern has developed technology to detect radiation - or treatments for conditions such as osteoporosis. But he added: "It is as likely to be something we didn't expect. That is why we are opening it up to these innovative companies."

Winning companies will

also be able to collaborate with universities from Liverpool and Manchester as well as the 100 or so other businesses on the Daresbury site, which include IBM and Dell.

The STFC contributes £100m a year to Cern, a sixth of the council's budget. UK companies receive about £15m annually in contracts in return.

Steve Myers, Cern's director of accelerators and technology, said: "Cern is committed to maximising the benefit to society of Cern technology through the development and exploitation of innovative ideas."

The STFC's Rainbow venture capital fund could also become involved.

STFC Innovations, the commercialisation company, has created more

than 16 spinouts worth £50m.

The STFC is collaborating with the European Space Agency on a similar model. There are some 15 businesses at its Harwell campus near Oxford, including Radius Health, which is working on a portable X-ray machine that could be used by paramedics at accident scenes. Another company is working on a drone that can map the condition of crops and then network with a tractor's GPS system to ensure the right amount of fertiliser is spread in the right place.

The space agency has seven technology transfer centres across Europe and Cern hopes to follow suit. The competition is open to companies from the 20 countries that pay for Cern.

Technology and trophies

£40,000

Funding winning companies will receive

40hrs

Technical support from Cern winners will receive

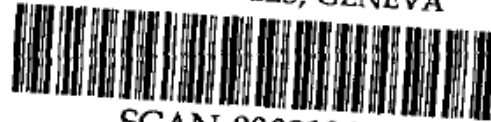
£100m

Sum the STFC contributes to Cern each year

£15m

Value of Cern contracts UK companies receive annually

Financial Times, 19.10.2012



PRELIMINARY PERFORMANCE ESTIMATES FOR A LEP PROTON COLLIDER

S. Myers and W. Schnell

1. Introduction

This analysis was stimulated by news from the United States where very large $p\bar{p}$ and pp colliders are actively being studied at the moment. Indeed, a first look at the basic performance limitations of possible $p\bar{p}$ or pp rings in the LEP tunnel seems overdue, however far off in the future a possible start of such a p-LEP project may yet be in time. What we shall discuss is, in fact, rather obvious, but such a discussion has, to the best of our knowledge, not been presented so far.

We shall not address any detailed design questions but shall give basic equations and make a few plausible assumptions for the purpose of illustration. Thus, we shall assume throughout that the maximum energy per beam is 8 TeV (corresponding to a little over 9 T bending field in very advanced superconducting magnets) and that injection is at 0.4 TeV. The ring circumference is, of course that of LEP, namely 26,659 m. It should be clear from this requirement of "Ten Tesla Magnets" alone that such a project is not for the near future and that it should not be attempted before the technology is ready.