

Podróż do początków wszechświata

czyli czym zajmuje się fizyka jądrowa
wysokich energii

Daniel Kikoła, Wydział Fizyki PW

część materiałów przygotowana przez dr inż. Małgorzatę Janik i dr. inż. Łukasza Graczykowskiego





Mgławica Orzeł

Teleskop Kosmiczny Hubble'a

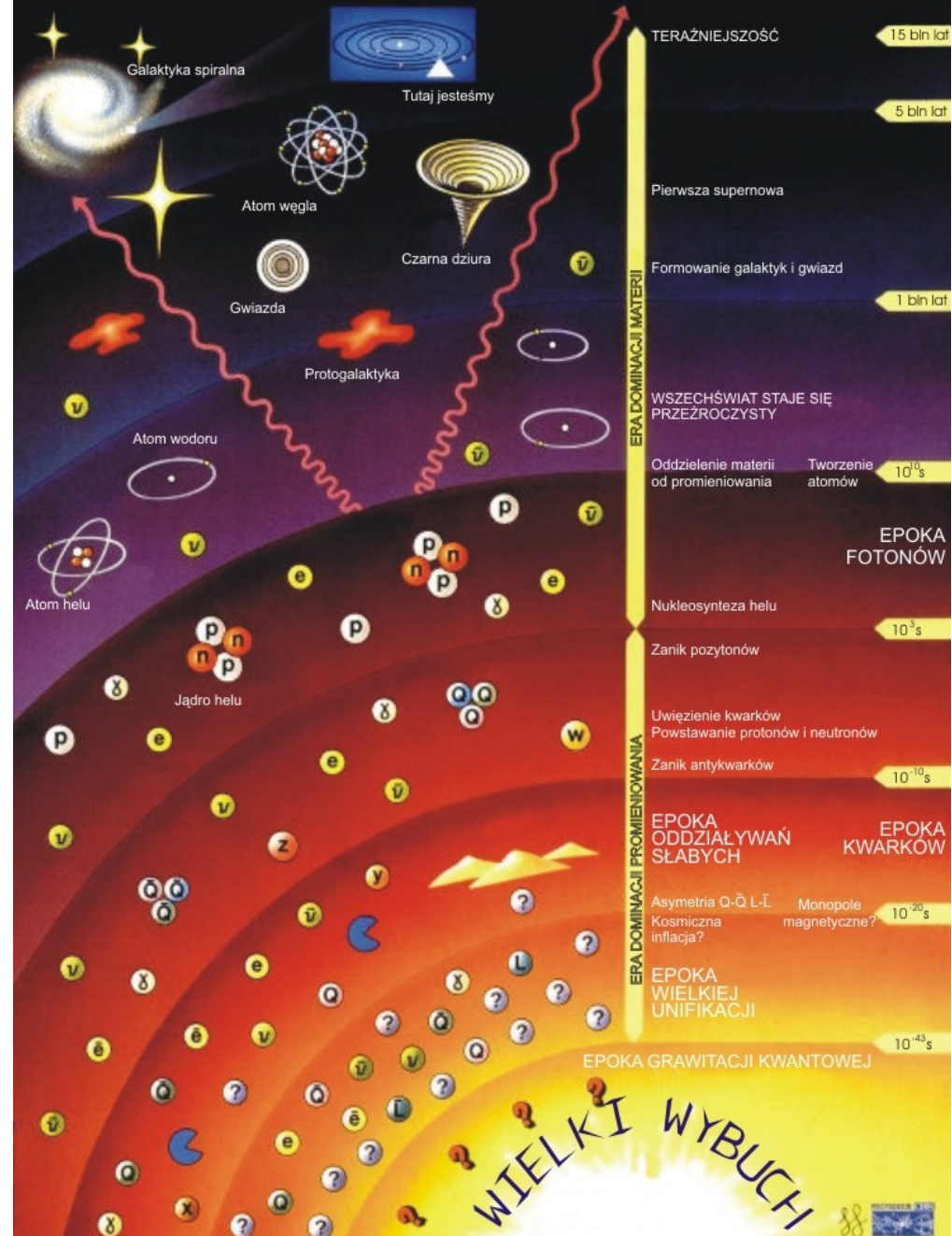
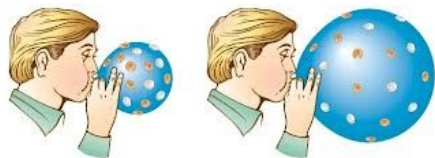
Model Wielkiego Wybuchu

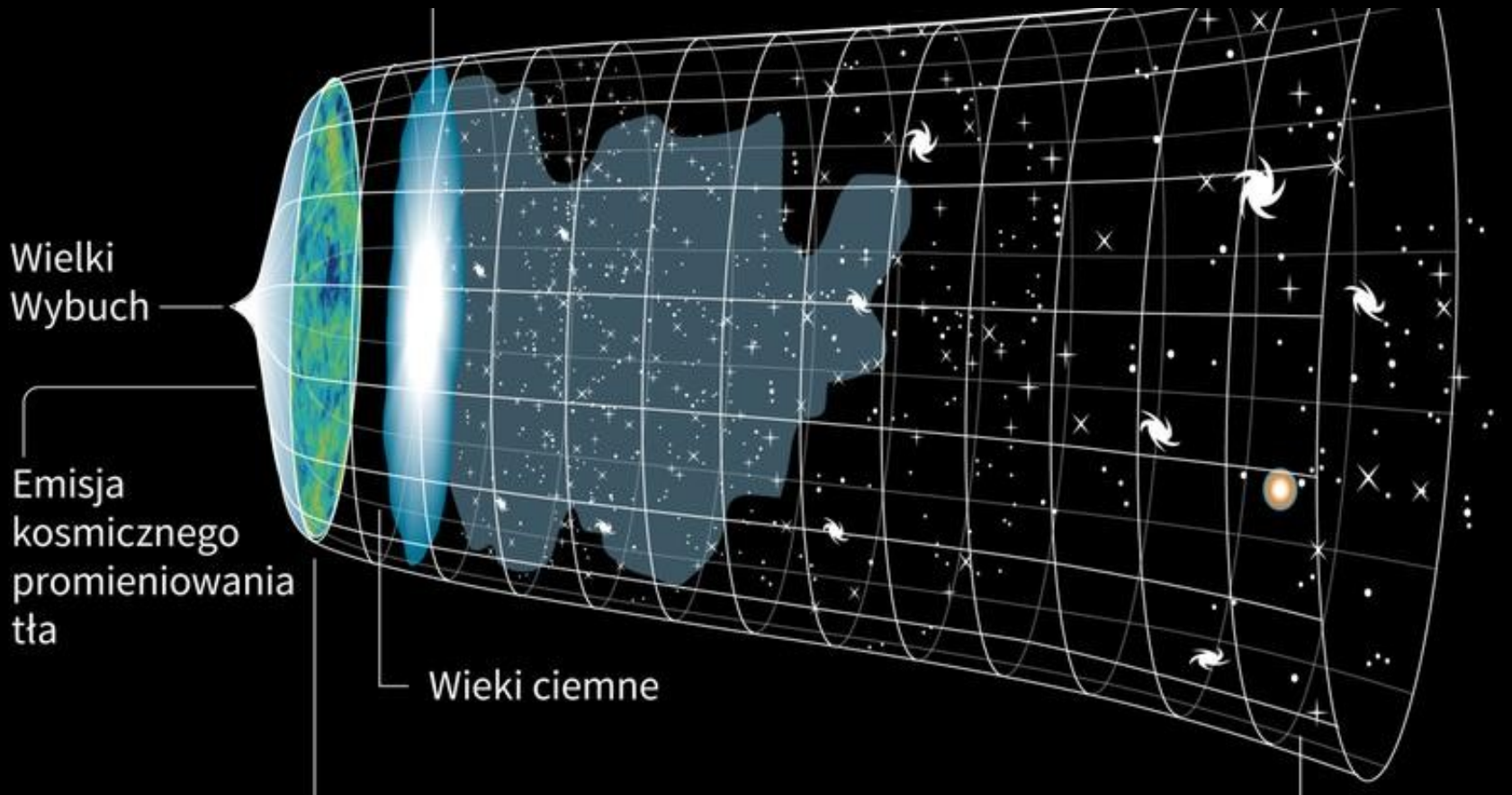


TEMPERATURA, GĘSTOŚĆ



ROZMIAR, KOMPLIKACJA





Wielki Wybuch

Emisja kosmicznego promieniowania tła

Wieki ciemne

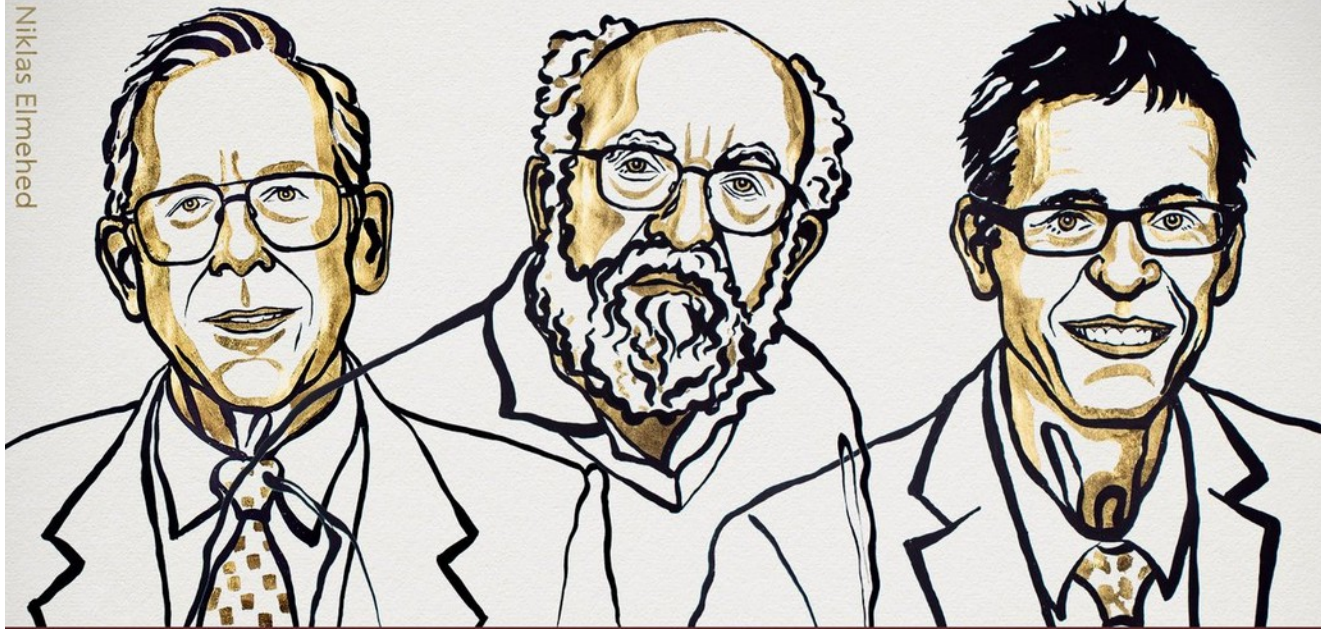
Ciemna energia wypełnia Wszechświat i nieustannie go rozszerza

380 000 lat od wybuchu pojawiła się jego pierwsza poświata



13,8 mld lat od Wielkiego Wybuchu

THE NOBEL PRIZE IN PHYSICS 2019



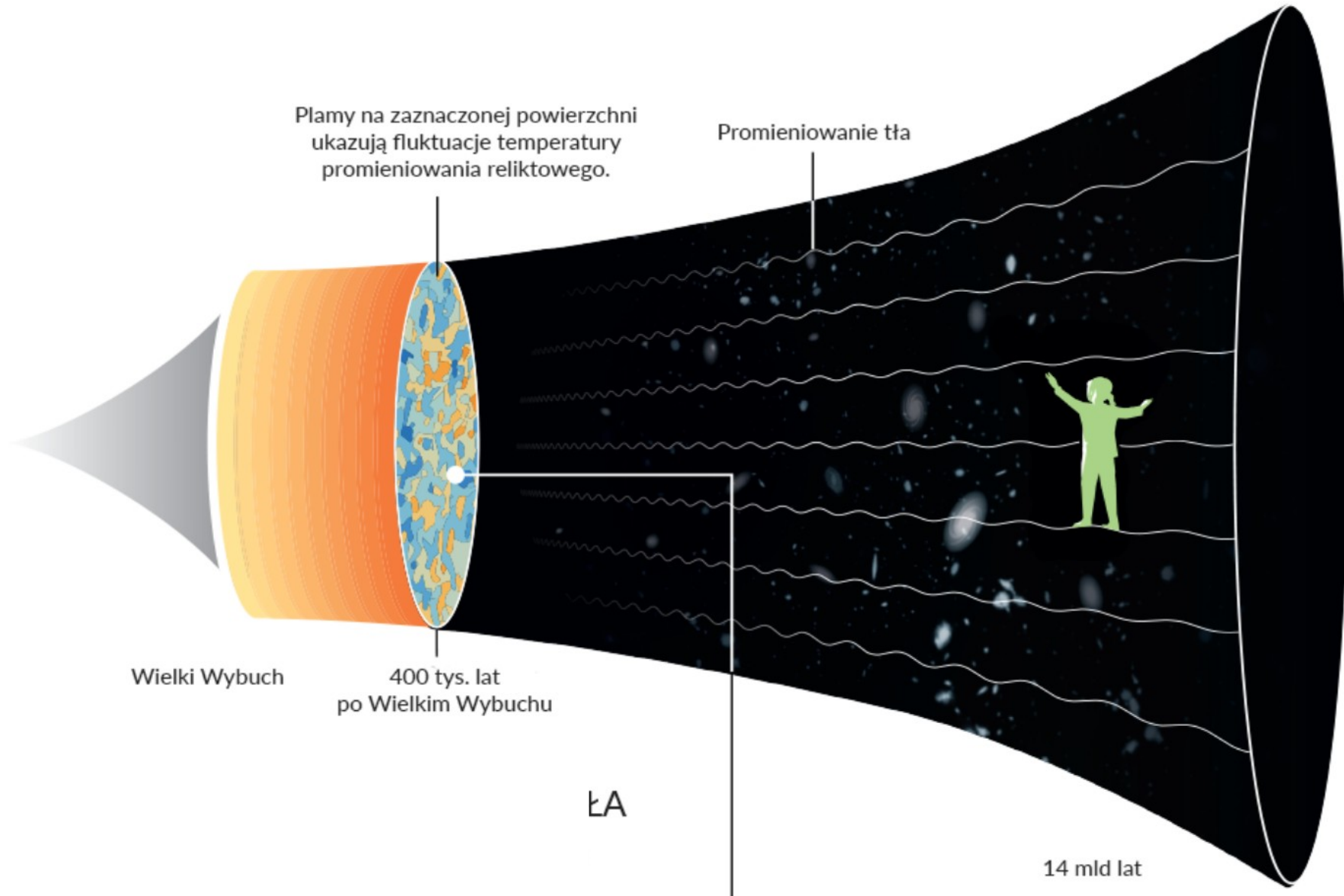
James
Peebles

“for theoretical
discoveries
in physical
cosmology”

Michel
Mayor

“for the discovery of an exoplanet
orbiting a solar-type star”

Didier
Queloz



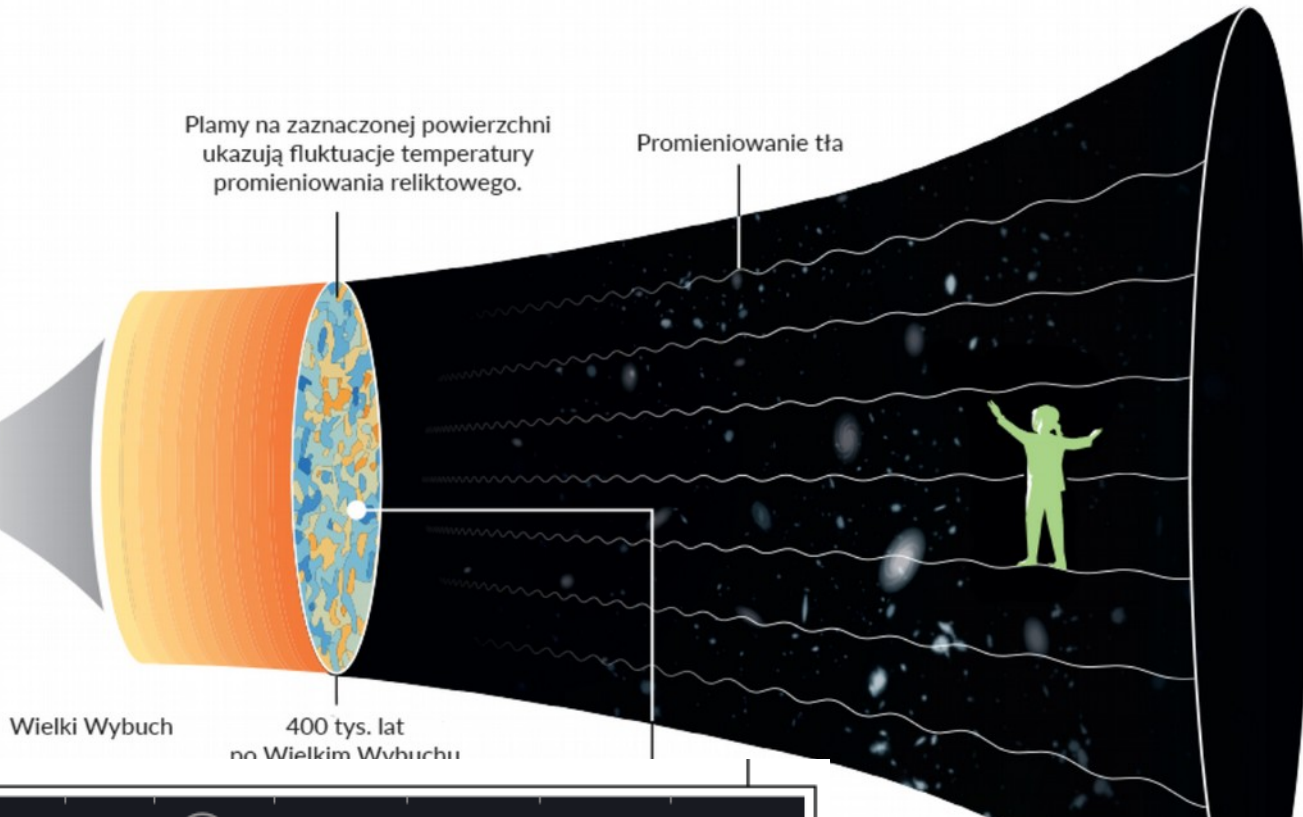
Wielki Wybuch

400 tys. lat
po Wielkim Wybuchu

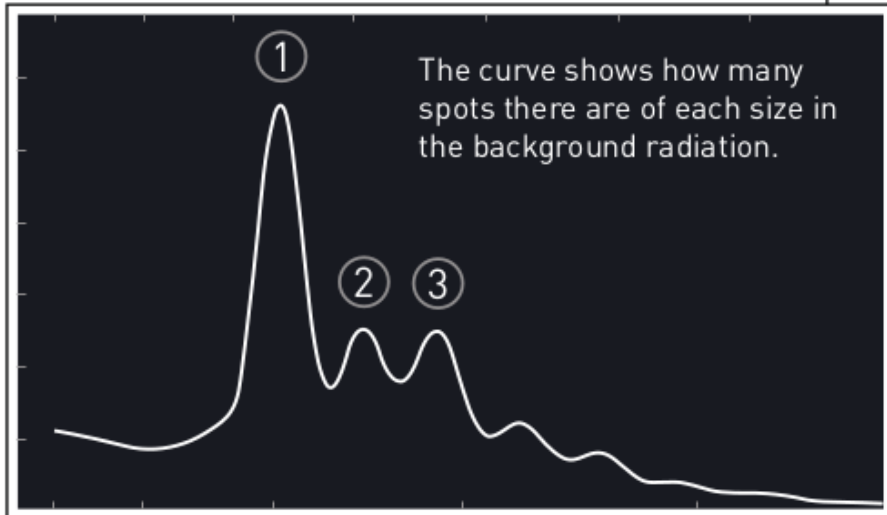
Promieniowanie tła

14 mld lat

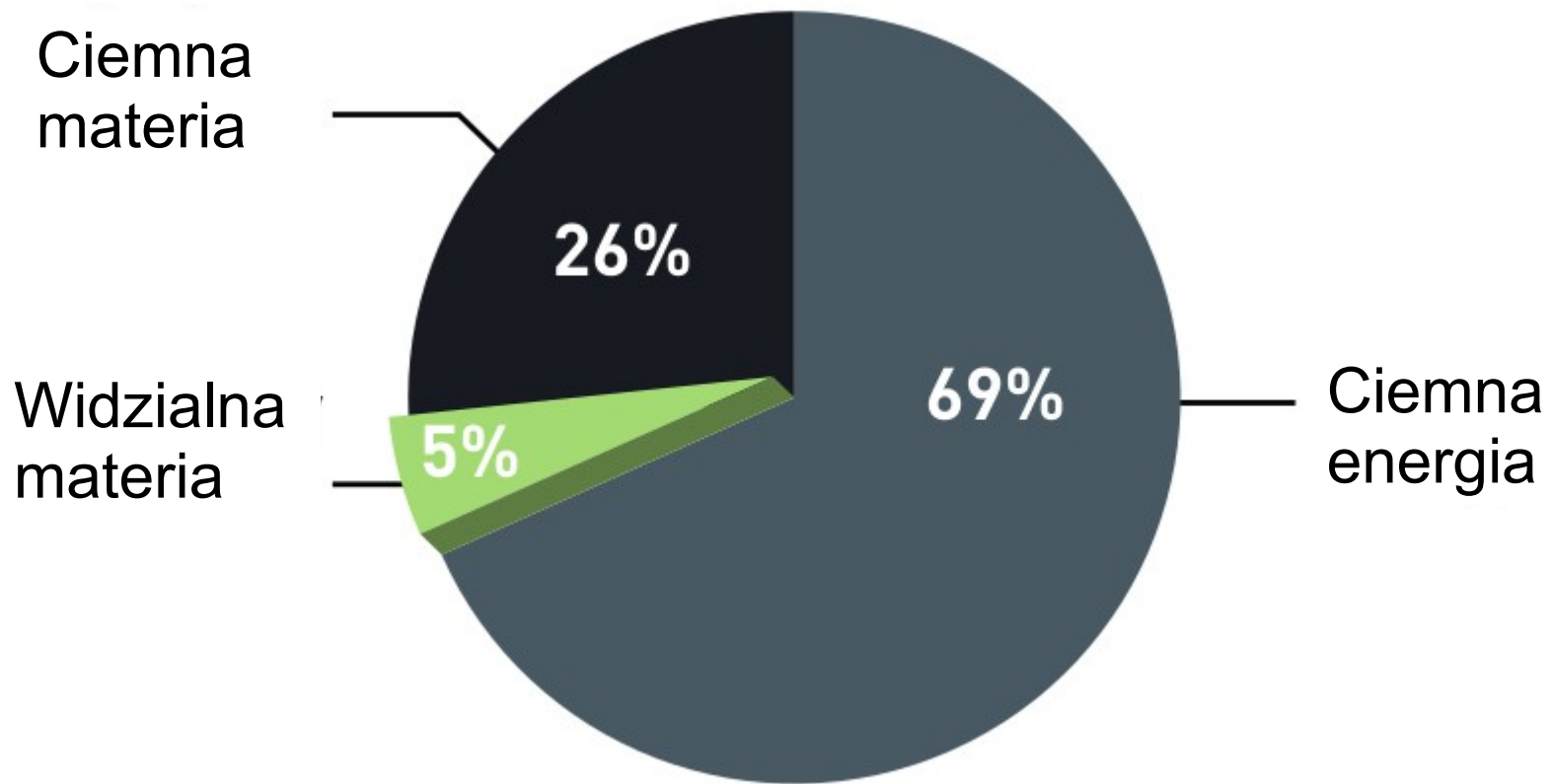
ŁA



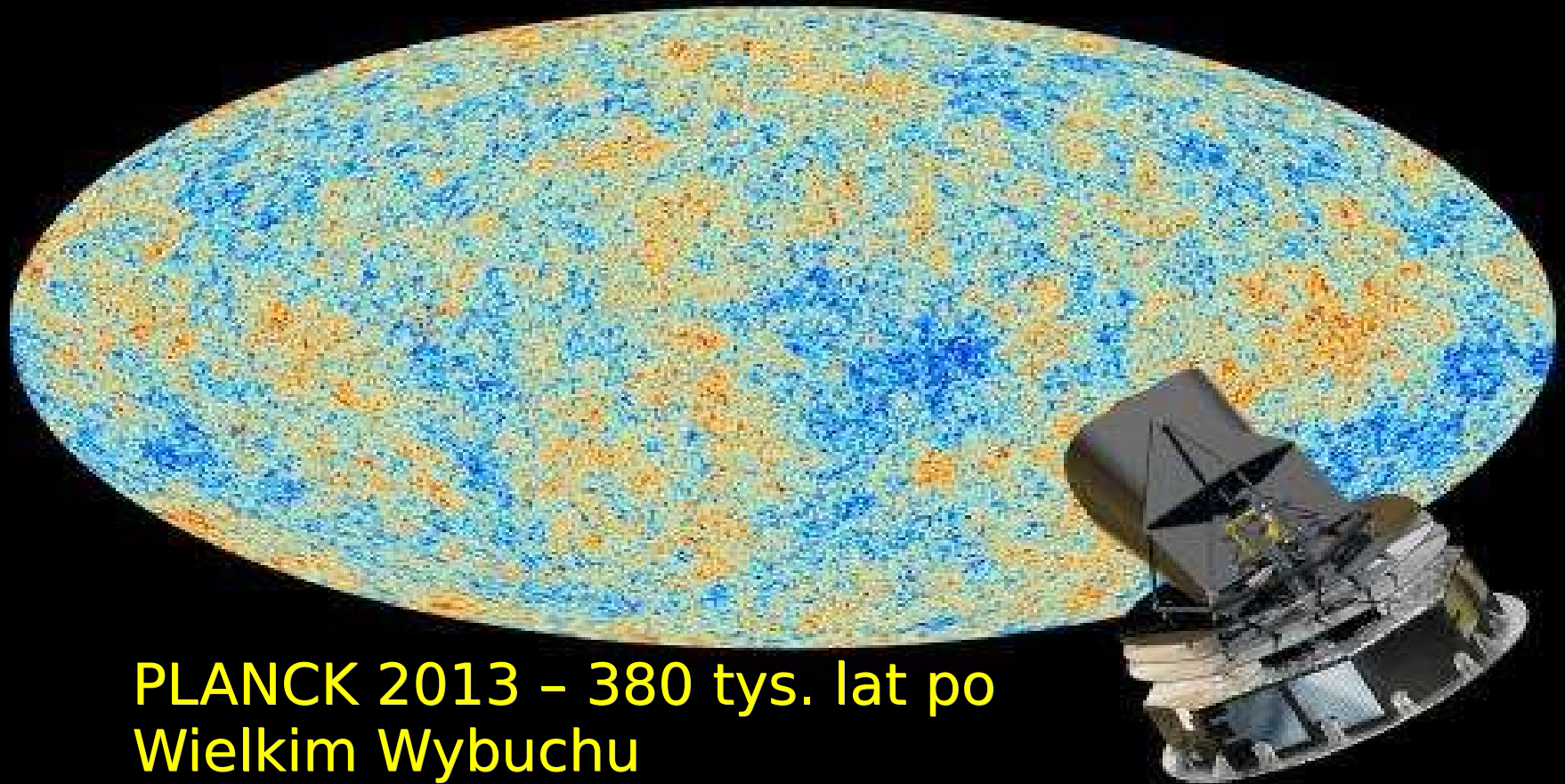
Fluktuacje temperatury spowodowane rozchodzeniem się fal akustycznych w gorącej plazmie niemowlęcego wszechświata.



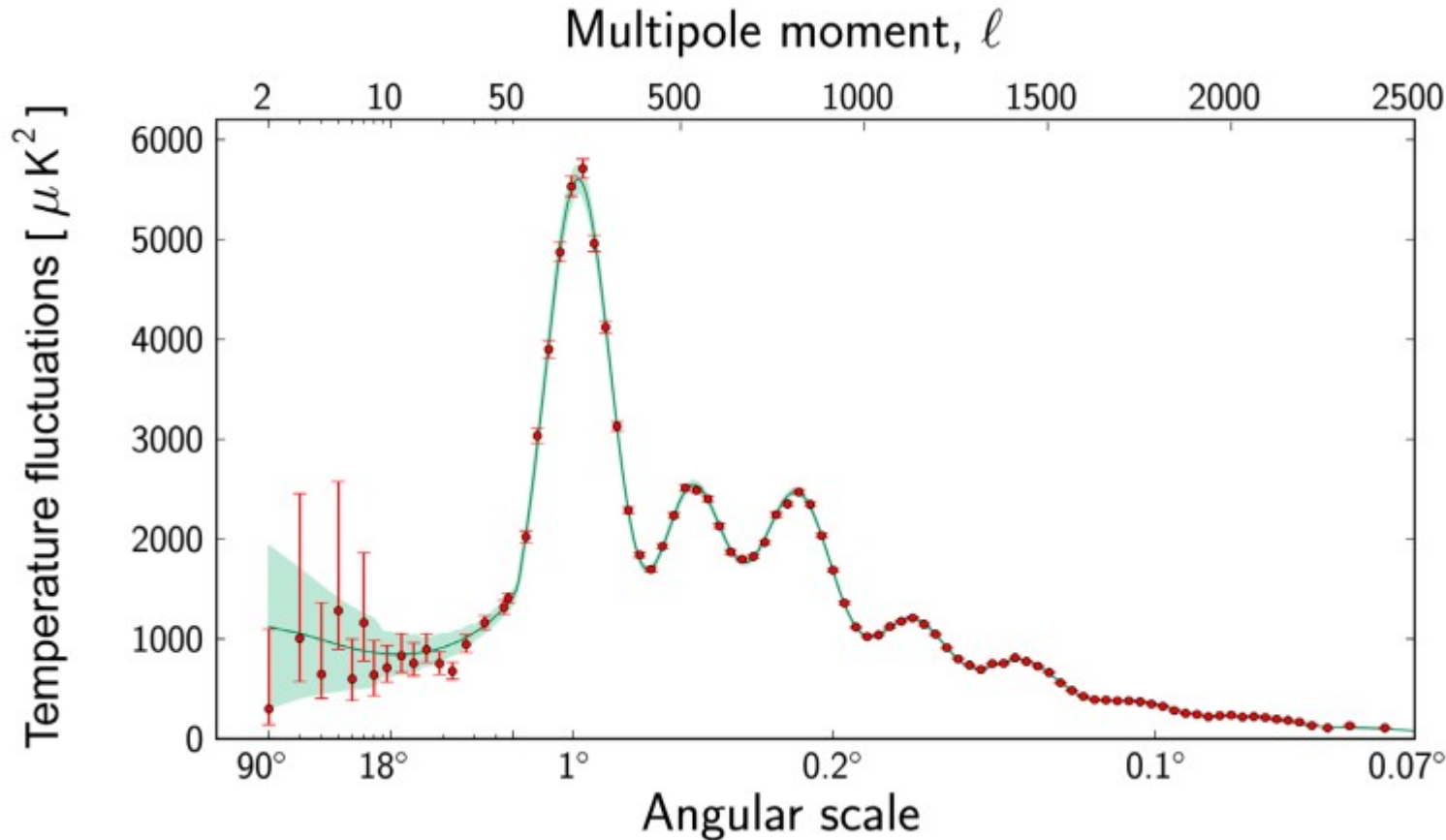
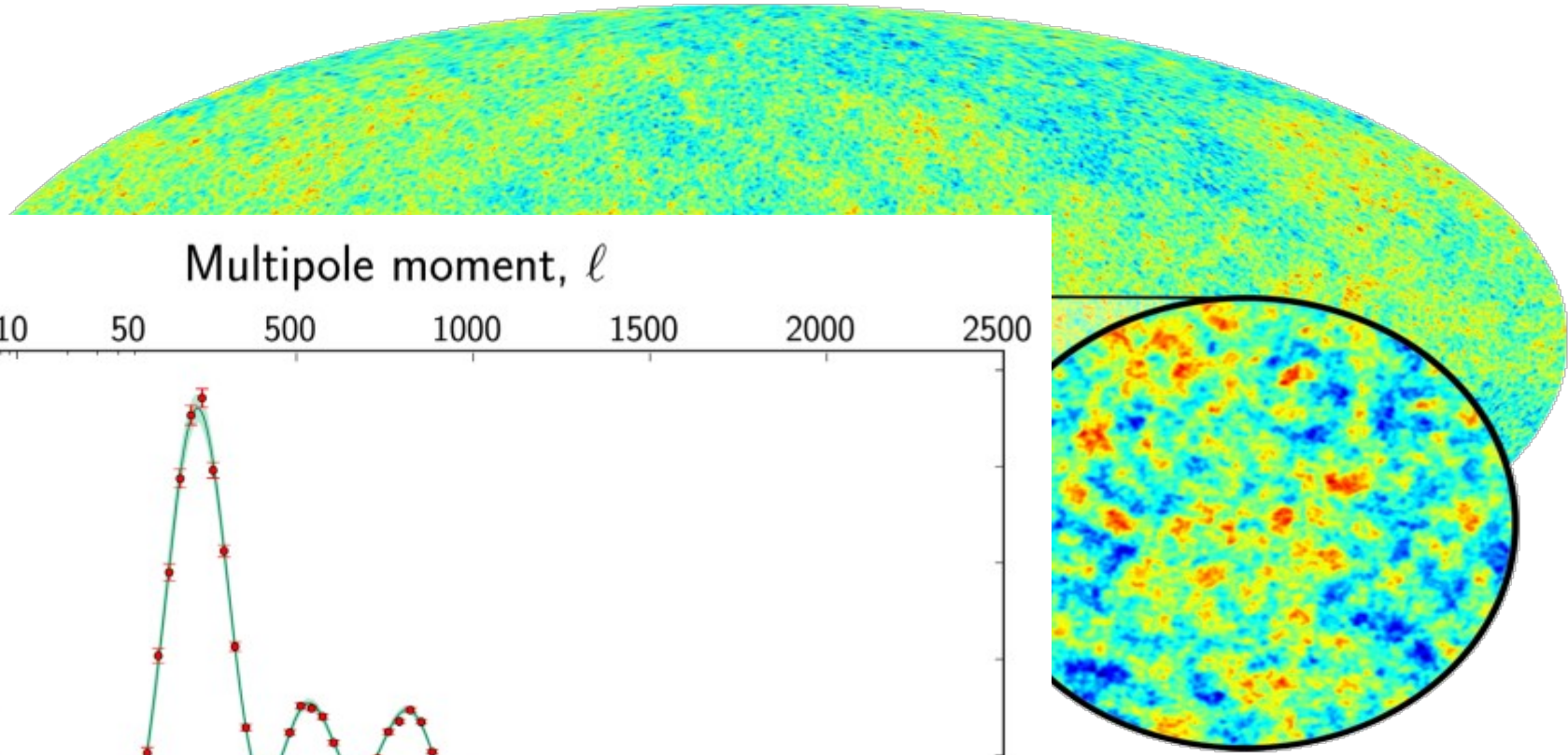
- 1 Pierwszy zbiór danych pokazuje nam, że Wszechświat jest geometrycznie płaski i np. dwie linie równoległe nigdy się w nim nie spotkają.
- 2 Drugi zbiór danych wskazuje, że materia widzialna to zaledwie 5% materii i energii Kosmosu.
- 3 Trzeci zbiór danych pokazuje, że 26% Wszechświata składa się z ciemnej materii.



$T = 2.725 \text{ K}$



Analiza niejednorodności w rozkładzie promieniowania tła



Planck

Czy da się sięgnąć dalej?

Wszechświat



Plazma Kwarkowo-
Gluonowa

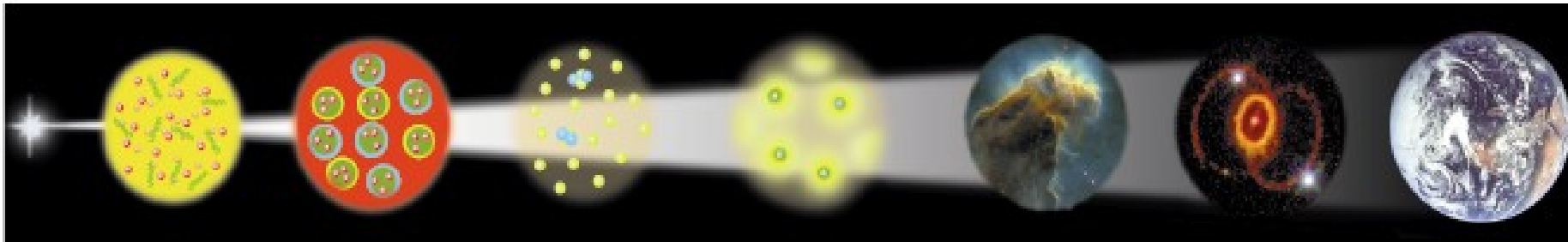
Nukleony

Jądra

Atomy

Dzisiaj

Wielki
Wybuch



10^{-6} s

10^{-4} s

3 min

380 tys. lat

Wielki Wybuch → 13,8 miliarda lat temu



Eksperyment

1 m

Wszystkie rzeczy
na świecie składają się z atomów

10^{-10} m

Atom składa się z jądra atomowego

10^{-14} m

i elektronów, które nie
posiadają wewnętrznej struktury

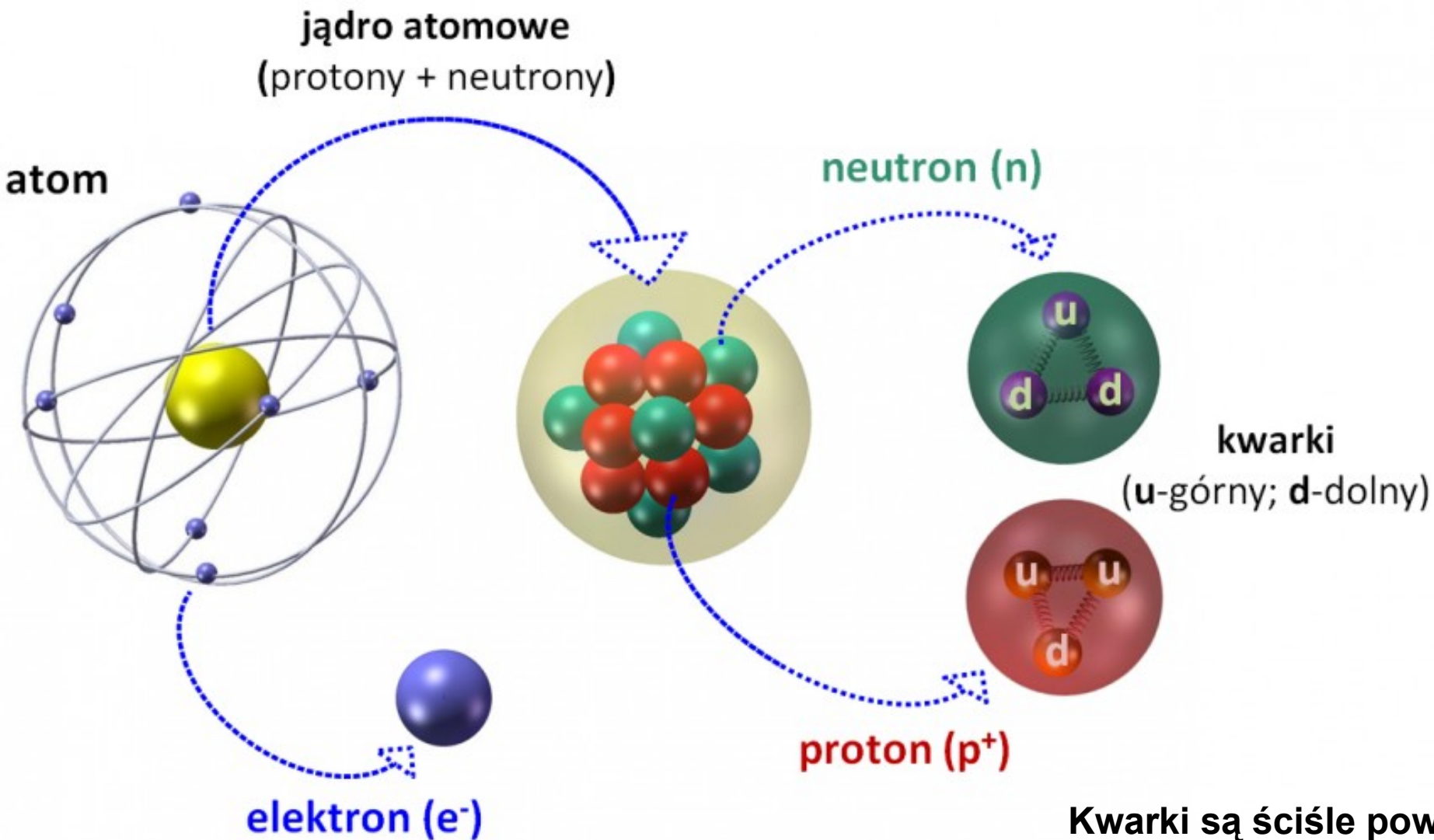
Jądro atomowe składa się z protonów

10^{-15} m i neutronów

Protony i neutrony składają się z kwarków
Kwarki nie posiadają wewnętrznej struktury

10^{-18} m

SKŁADNIKI STRUKTURY MATERII I ROZMIARY



**Kwarki są ściśle powiązane,
poprzez gluony**

**Nie udało się zaobserwować
swobodnego kwarku**

Kwarki

Fermiony

$2.3 \text{ MeV}/c^2$ $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ u górny	$1.27 \text{ GeV}/c^2$ $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ c powabny	$173.5 \text{ GeV}/c^2$ $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ t szczytowy
$4.8 \text{ MeV}/c^2$ $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ d dolny	$95 \text{ MeV}/c^2$ $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ s dziwny	$4.2 \text{ GeV}/c^2$ $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ b spodni
$0.511 \text{ MeV}/c^2$ -1 $\frac{1}{2}$ e elektron	$105.7 \text{ MeV}/c^2$ -1 $\frac{1}{2}$ μ mion	$1.777 \text{ GeV}/c^2$ -1 $\frac{1}{2}$ τ taon
$<2.2 \text{ eV}/c^2$ 0 $\frac{1}{2}$ ν_e neutrino elektronowe	$<170 \text{ keV}/c^2$ 0 $\frac{1}{2}$ ν_μ neutrino mionowe	$<15.5 \text{ MeV}/c^2$ 0 $\frac{1}{2}$ ν_τ neutrino taonowe

I

II

III

Bozony pośredniczące

Bozony cechowania

0 0 1 γ foton	$91.2 \text{ GeV}/c^2$ 0 1 Z^0 bozon Z
0 0 1 g gluon	$80.4 \text{ GeV}/c^2$ ± 1 1 W^\pm bozon W
$?126 \text{ GeV}/c^2$ 0 0 H^0 bozon Higgsa	

Masa
Ładunek
Spin

Oddziaływania



Oddziaływanie	grawitacyjne	ślabe 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 najślabszą siłą w mikroświecie (jest pomijalnie mała)
- Oddziaływania silne zachowują się inaczej (rosną z odległością)

Czy można uwolnić kwarki?

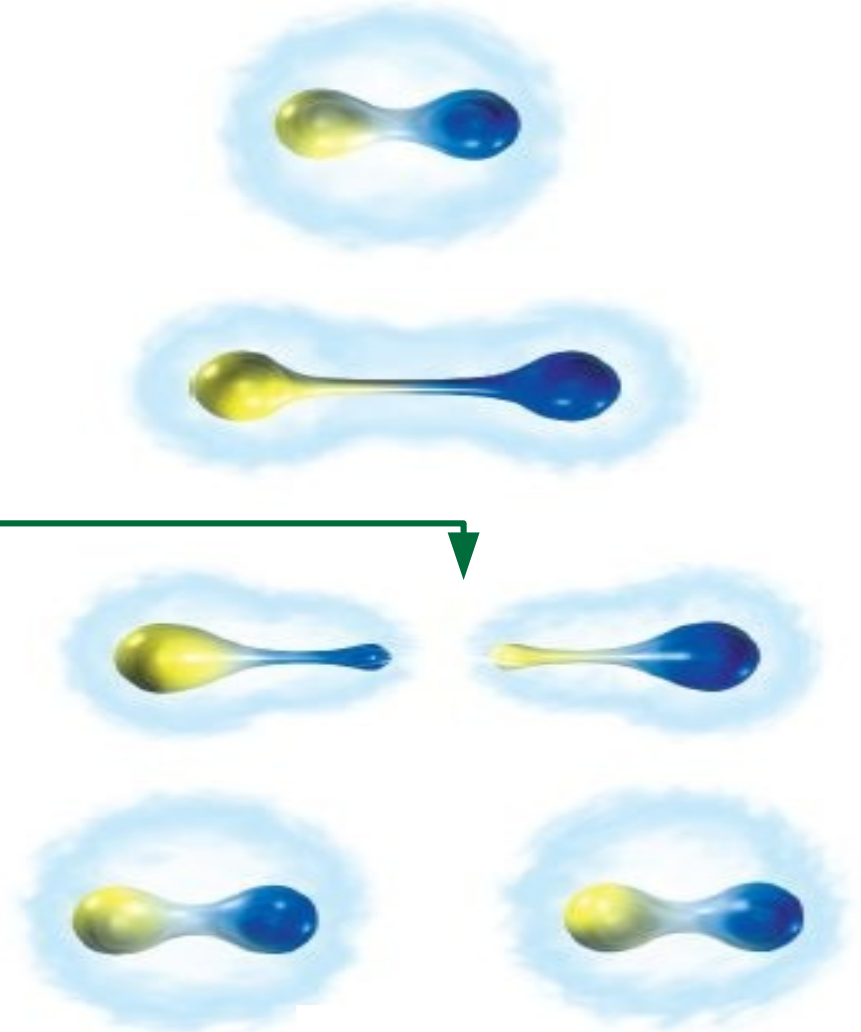
Para kwark-antykwar (mezon)

Próbujemy je rozdzielić
(dodajemy energię)

$$E=mc^2!$$

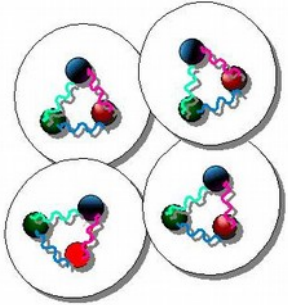


Dostajemy dwa mezony

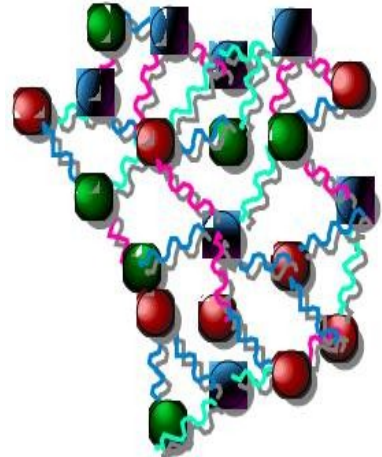


Jak uwolnić kwarki?

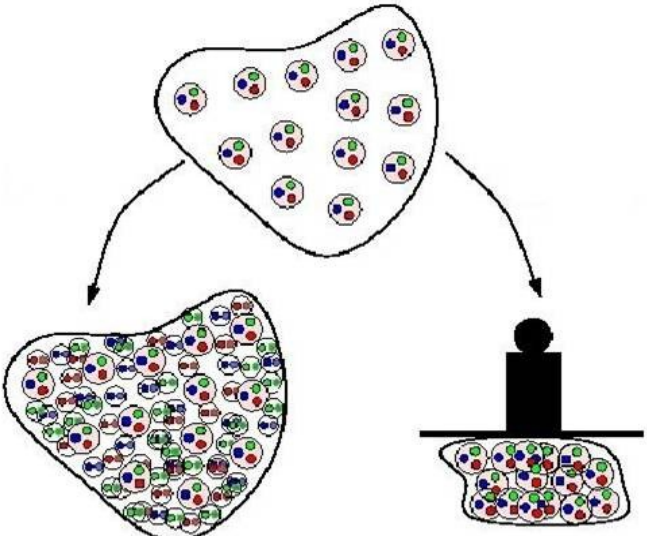
Materia hadronowa:
kwarki
uwięzione w
protonach i
neutronach



?



Materia kwarkowa:
kwarki są
swobodne i mogą
się przemieszczać

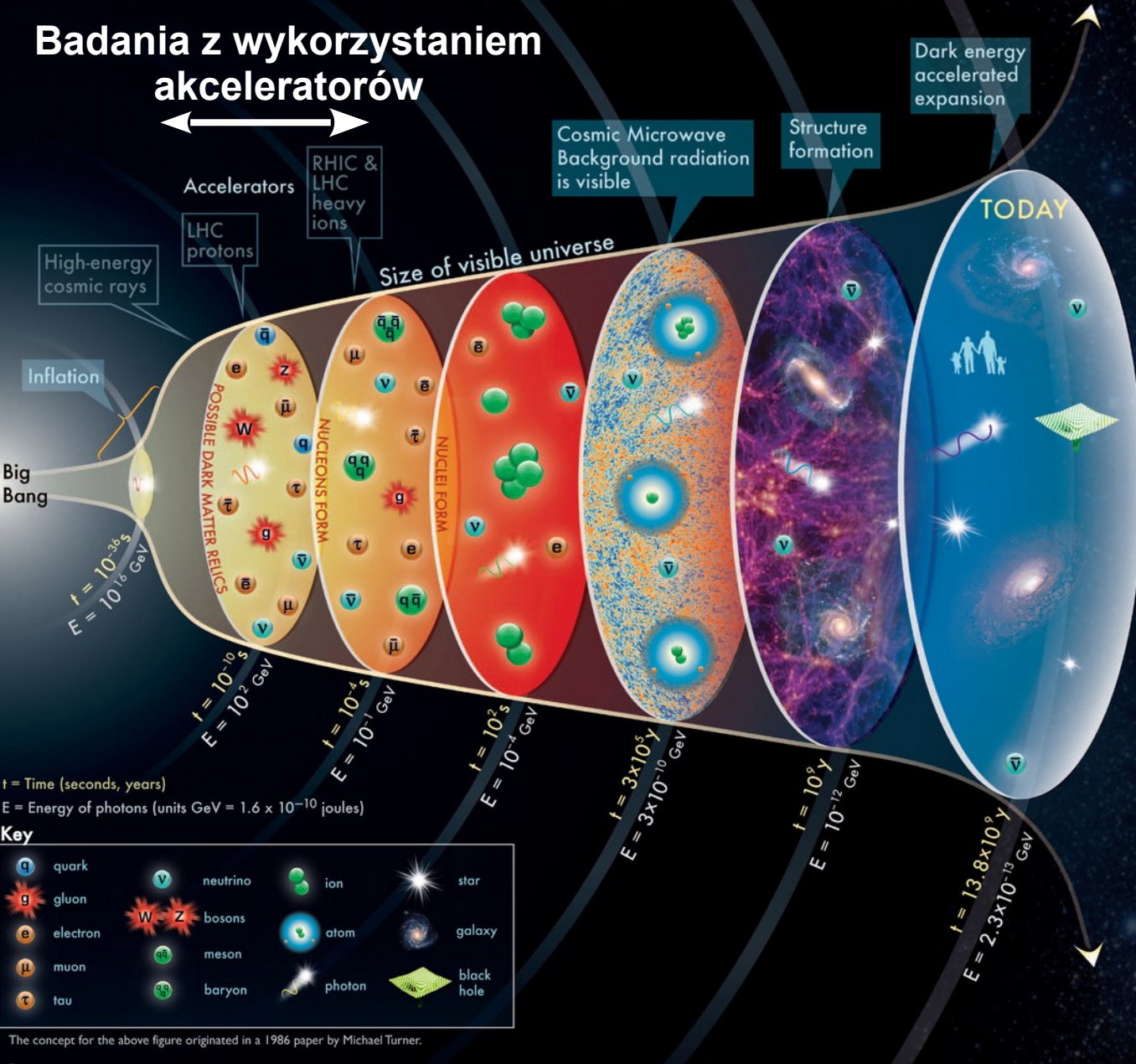


podgrzać: 1 000 000 000 000 °C

ścisnąć
100 000 000 ton/cm³



Badania z wykorzystaniem akceleratorów



t = Time (seconds, years)
 E = Energy of photons (units GeV = 1.6 x 10⁻¹⁰ joules)

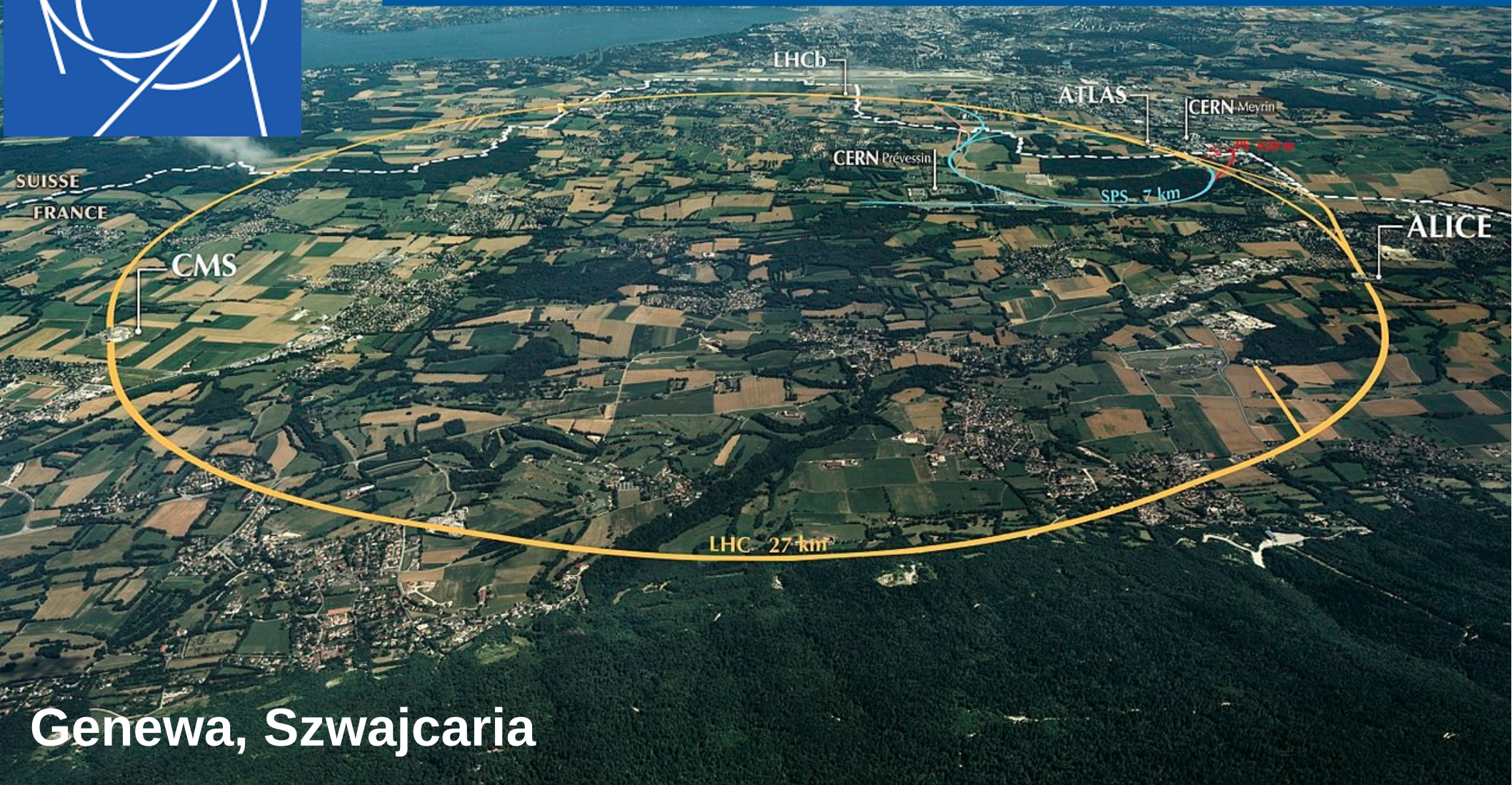
Key

	quark		neutrino		ion		star
	gluon		bosons		atom		galaxy
	electron		meson		photon		black hole
	muon		baryon				
	tau						

The concept for the above figure originated in a 1986 paper by Michael Turner.



Europejska Organizacja Badań Jądrowych



Genewa, Szwajcaria

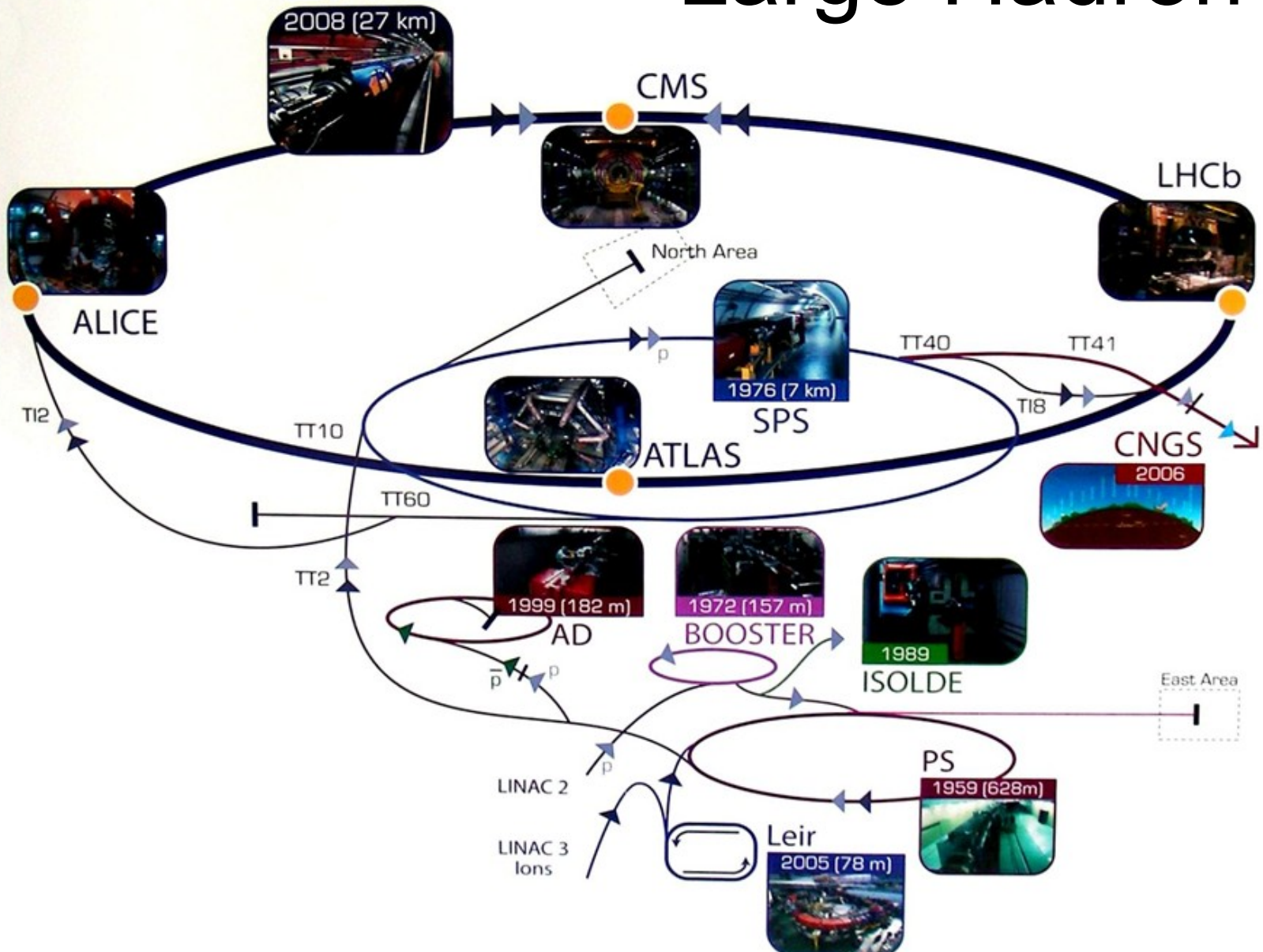
CERN i Wielki Zderzacz Hadronów U stóp Alp

Długość tunelu: 27 km Prąd (magnesy): 11,7 kA
Próżnia: 10^{-10} T Pole (magnesy): 8,7 T
Temperatura: 1,9 K
Prędkość protonów: $0,9999999991c$ ($E_p = 7$ TeV)

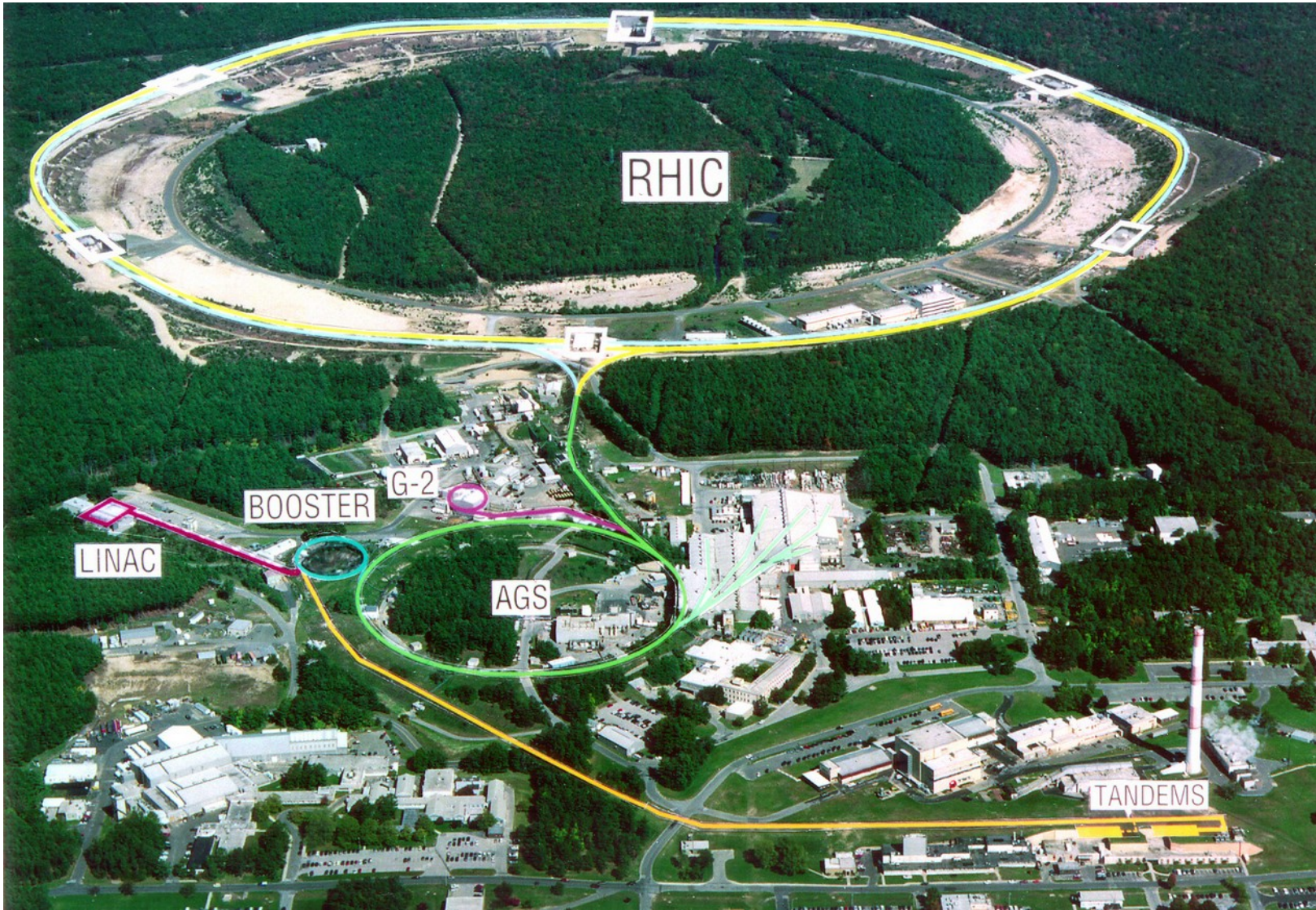


LHC

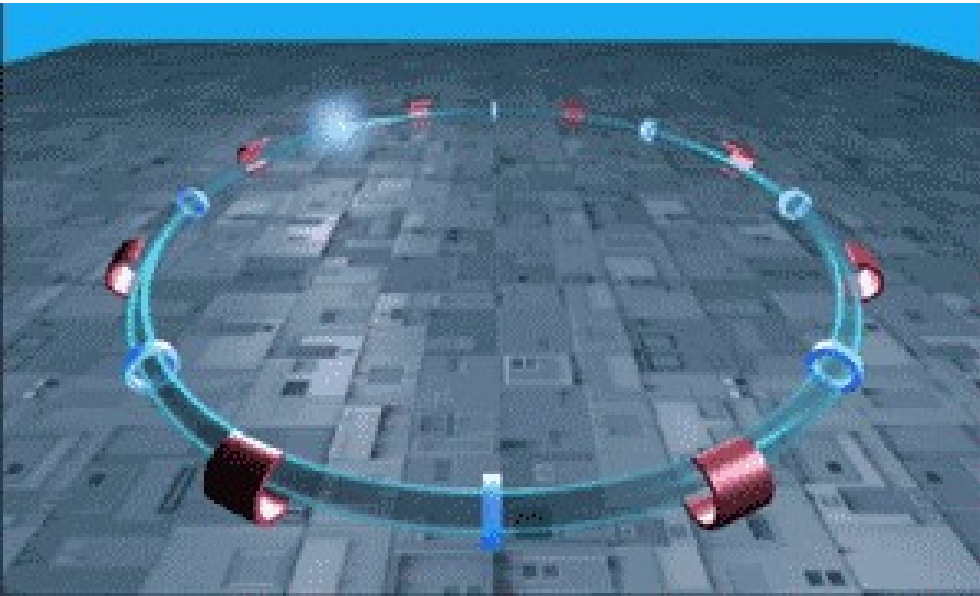
= Large Hadron Collider



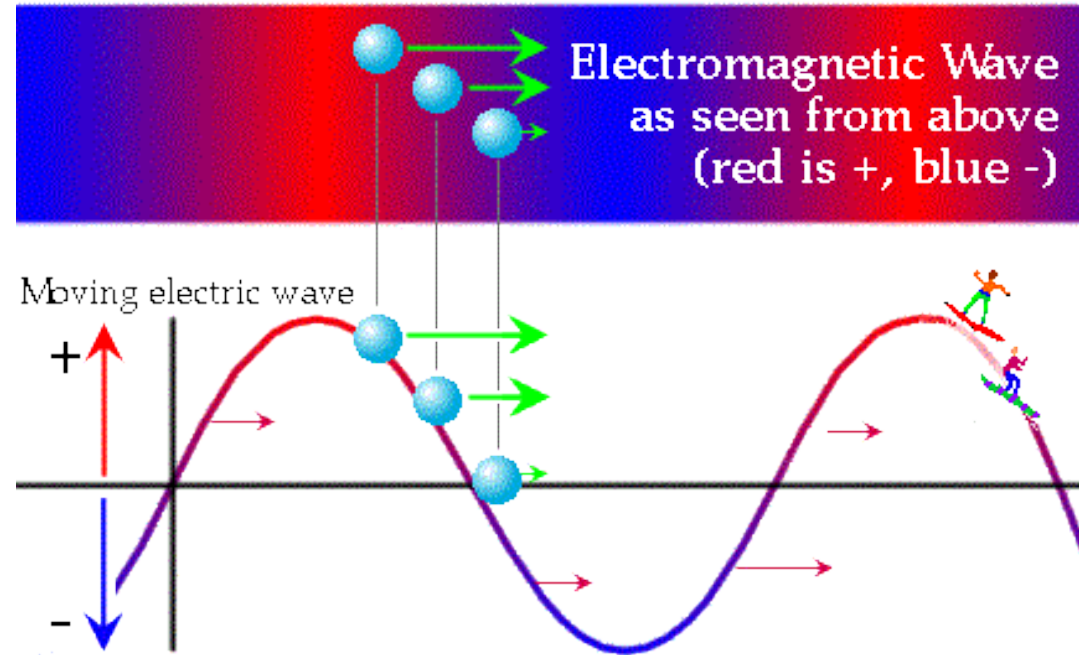
Relativistic Heavy Ion Collider Brookhaven National Laboratory (Long Island, USA)



Jak to działa?



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

Jak to działa?



Magnesy dipolowe (żeby cząstki krążyły po okręgu)

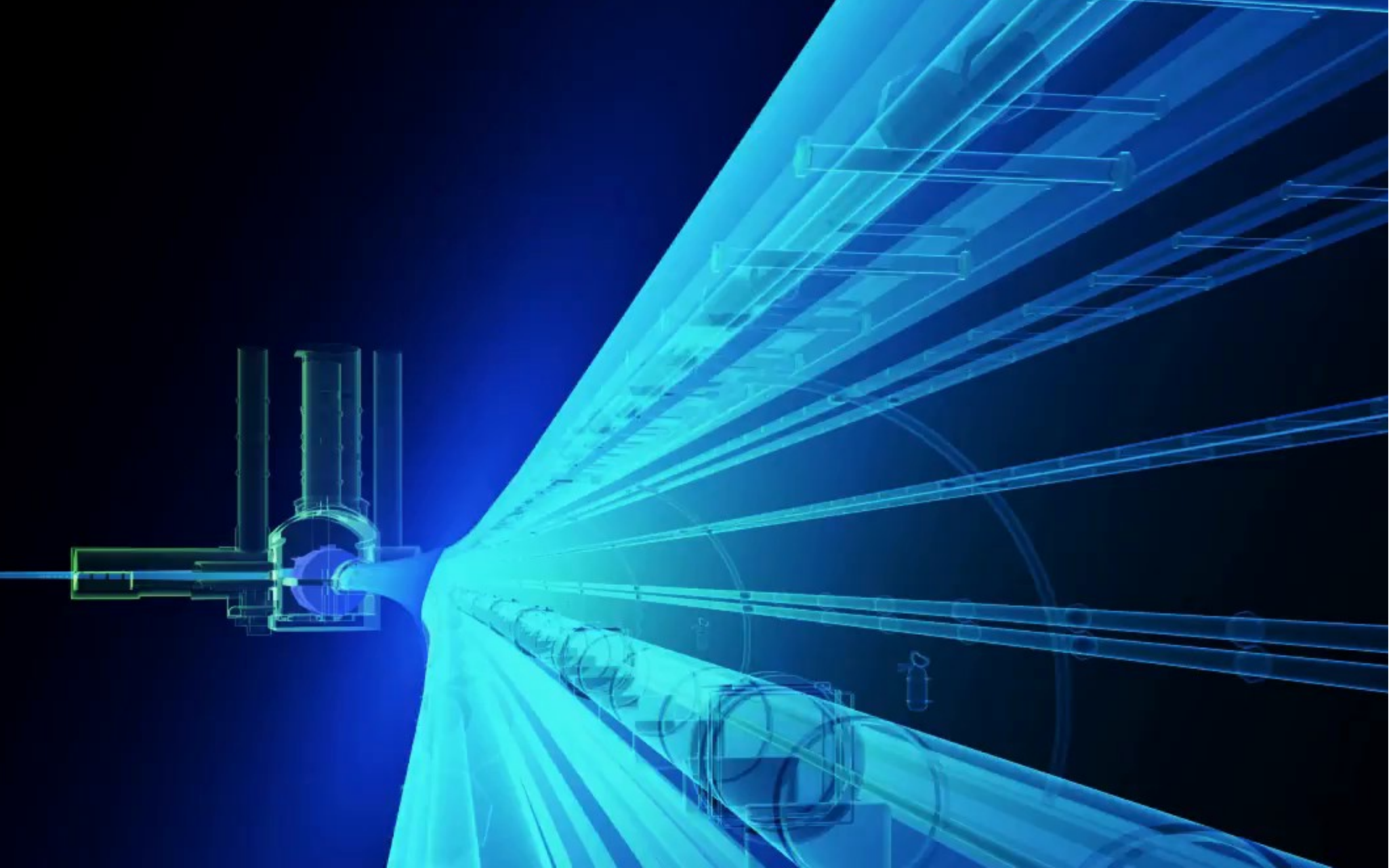


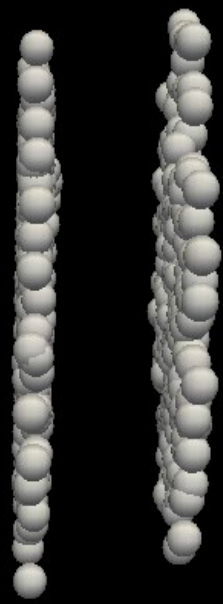
Magnesy kwadrupolowe (żeby wiązka się nie rozpadła)

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

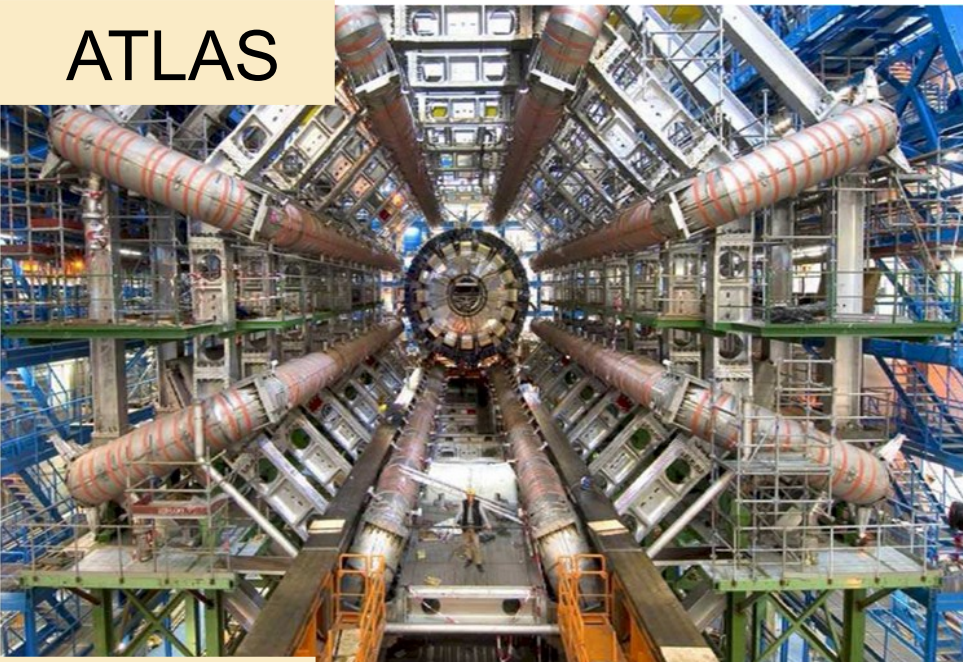
Pole elektryczne: przyspiesza cząstki

Pole magnetyczne: zakrzywia tor wiązki, skupia wiązkę

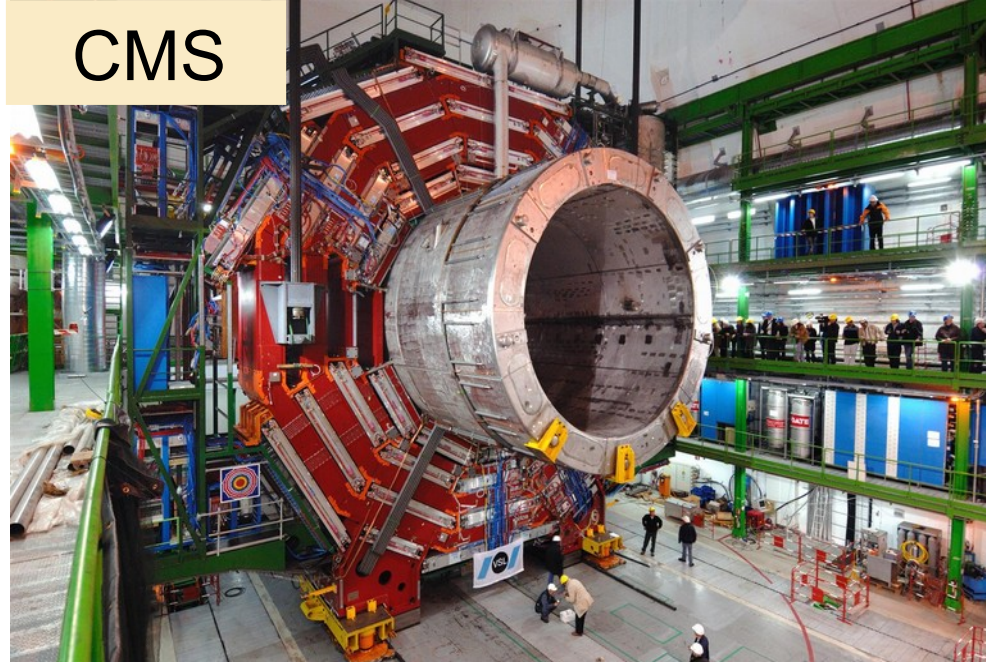




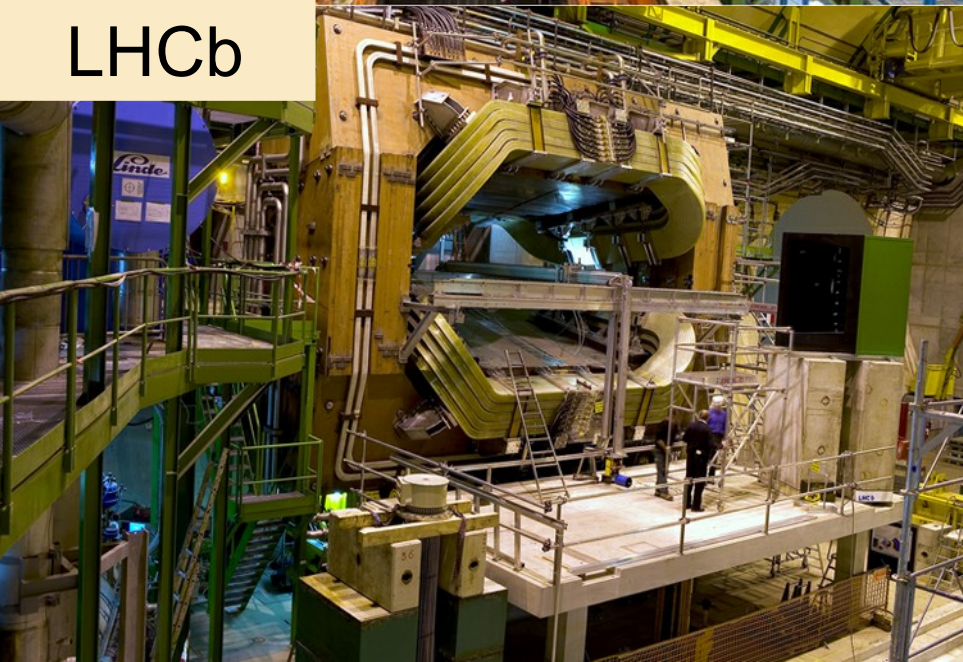
ATLAS



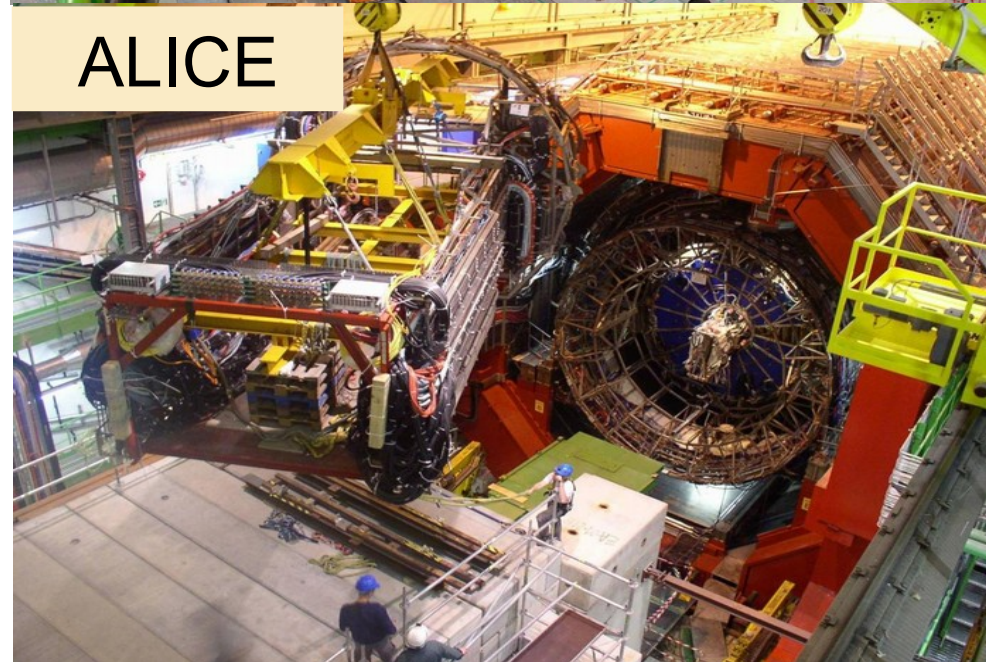
CMS



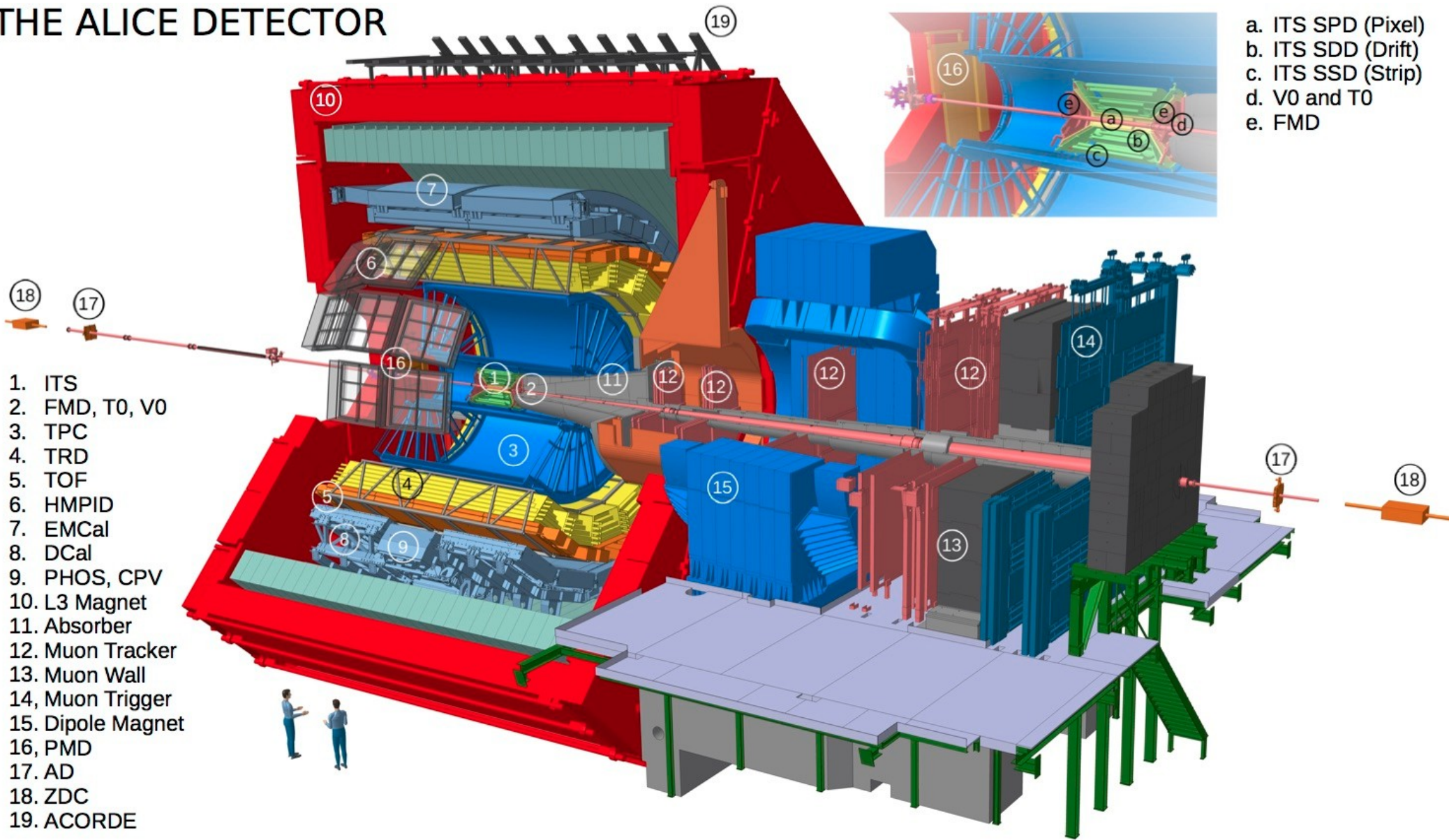
LHCb



ALICE



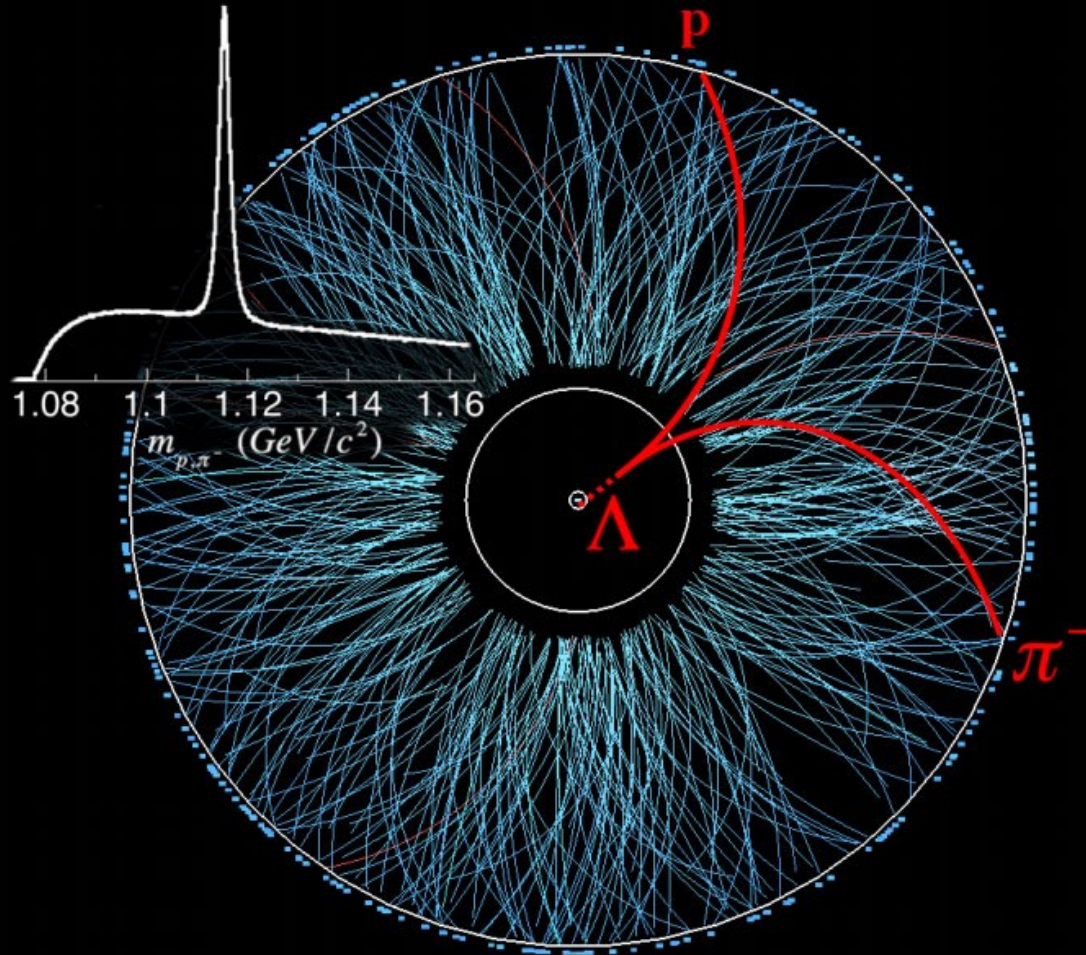
THE ALICE DETECTOR



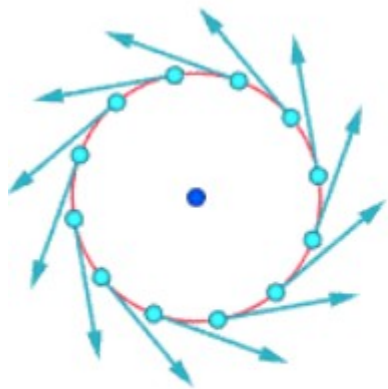
- 1. ITS
- 2. FMD, T0, V0
- 3. TPC
- 4. TRD
- 5. TOF
- 6. HMPID
- 7. EMCal
- 8. DCal
- 9. PHOS, CPV
- 10. L3 Magnet
- 11. Absorber
- 12. Muon Tracker
- 13. Muon Wall
- 14. Muon Trigger
- 15. Dipole Magnet
- 16. PMD
- 17. AD
- 18. ZDC
- 19. ACORDE

- a. ITS SPD (Pixel)
- b. ITS SDD (Drift)
- c. ITS SSD (Strip)
- d. V0 and T0
- e. FMD

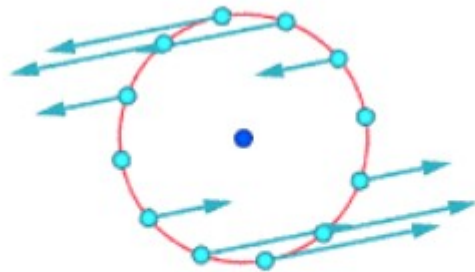
Plazma kwarkowo-gluonowa – najbardziej “wirowa” znana ciecż na świecie



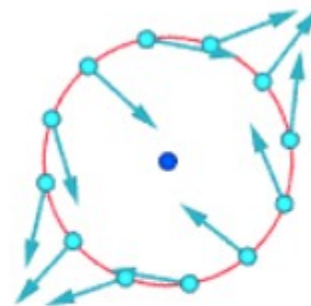
Wirowość



Wirowość $\neq 0$



Wirowość $\neq 0$



Wirowość = 0

$$\vec{\omega} = \nabla \times \vec{v}$$

$$\vec{\omega} \approx 10^{22} \text{ 1/s}$$

$$\vec{\omega} \approx 10^{22} \text{ 1/s}$$

Plazma kwarkowo-gluonowa wiruje najszybciej ze znanych obiektów

- największe tornada ($\omega \approx 0,1 \text{ 1/s}$)
- cyklon Wielka Czerwona Plama na Jowiszu $\omega \approx 10^{-4} \text{ 1/s}$
- Nadciekły hel ($\omega \approx 150 \text{ 1/s}$)

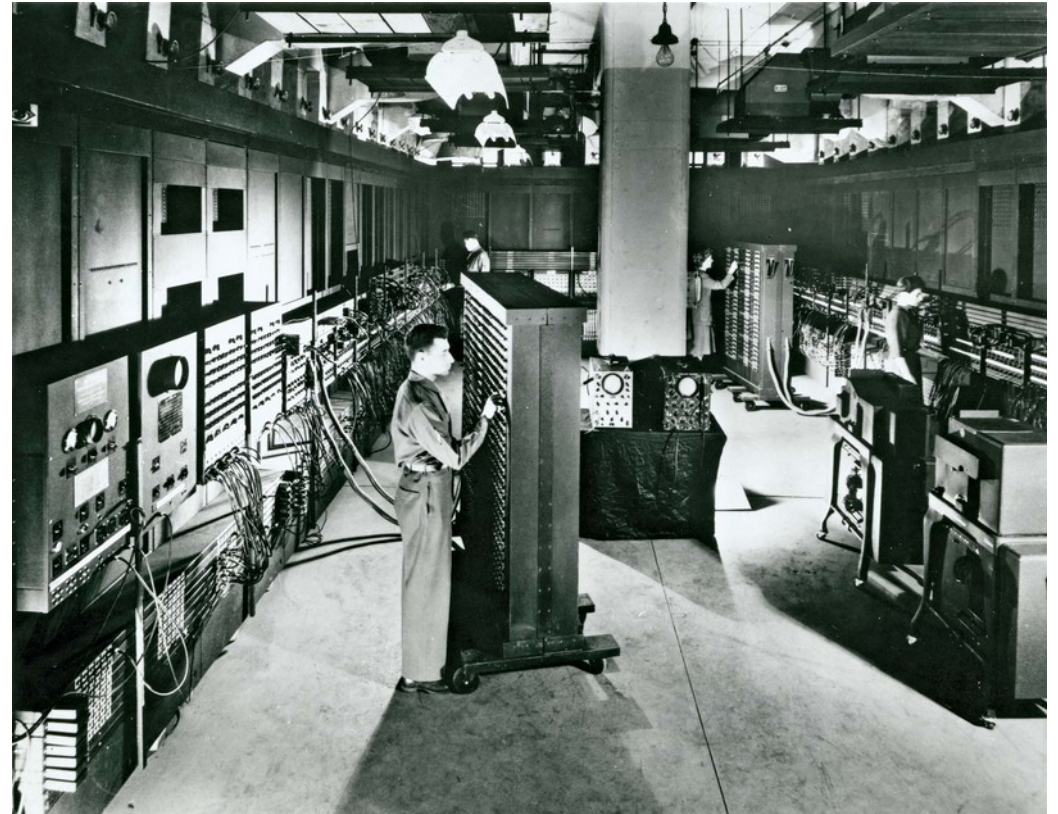


FIZYKA JĄDROWA A INFORMATYKA

Fizyka vs Informatyka – początki



S. Ulam R. Feynmann J. von Neumann
Projekt Manhattan



ENIAC

- Stanisław Ulam i John von Neumann opracowują Metodę Monte-Carlo. Implementacja na komputerze ENIAC – dowód potęgi maszyn obliczeniowych

Józef Rotblat (1908–2005)



Pokojowa nagroda Nobla (1995)

współpracownik Jamesa Chadwicka
(odkrywcy neutronu)

Brał udział w projekcie Manhattan, z którego się wycofał.

"for efforts to diminish the part played by nuclear arms in international politics and, in the longer run, to eliminate such arms."

WWW (World Wide Web) wynalezienie w CERN



ABOUT NEWS SCIENCE RESOURCES SEARCH | EN

Science › Computing › Birth web

The birth of the Web

The World Wide Web was invented by British scientist Tim Berners-Lee in 1989 while working at CERN

WWW wynalezienie przez
Tima Berners-Lee in 1989

<https://home.cern/science/computing/birth-web>

Narzędzia – globalna sieć komputerowa

Klaster komputerowy:

grupa połączonych jednostek komputerowych, które współpracują ze sobą w celu udostępnienia zintegrowanego środowiska pracy.



The Worldwide LHC Computing Grid

międzynarodowy projekt mający na celu usprawnienie przechowywania oraz analizy danych pochodzących z eksperymentu LHC, łączący ponad 140 centrów komputerowych w 35 krajach.



ALICE Repository

- ALICE Repository
- Google Map
- Shifter's dashboard
- Run Condition Table
- Production Overview
- Production info
- Job Information
- SE Information
- Services
- Network Traffic
- FTD Transfers
- CAF Monitoring
- SHUTTLE
- Build system
- HepSpec
- Dynamic charts

close all

This page: bookmark, URL

Active jobs trend

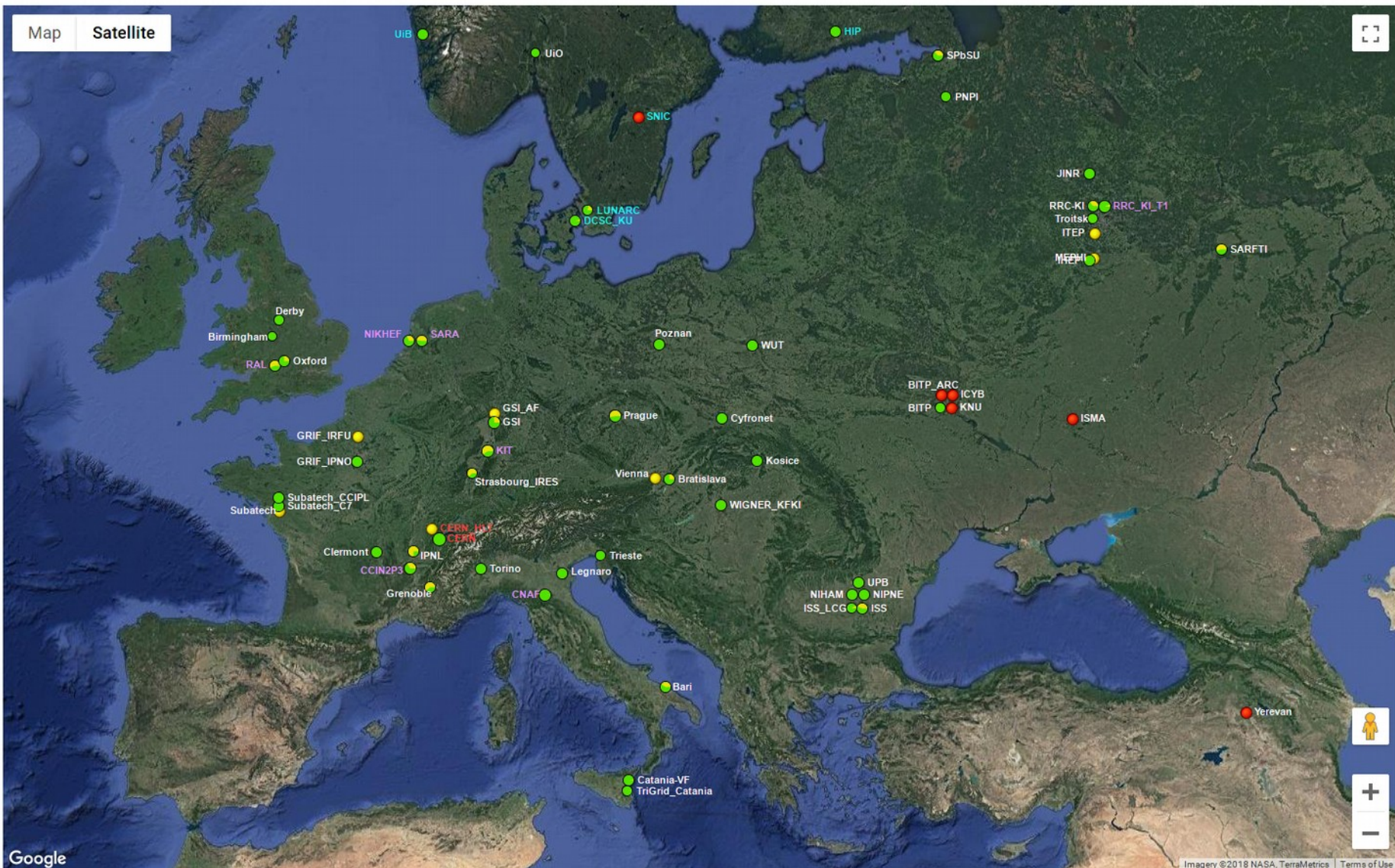


Active jobs trend



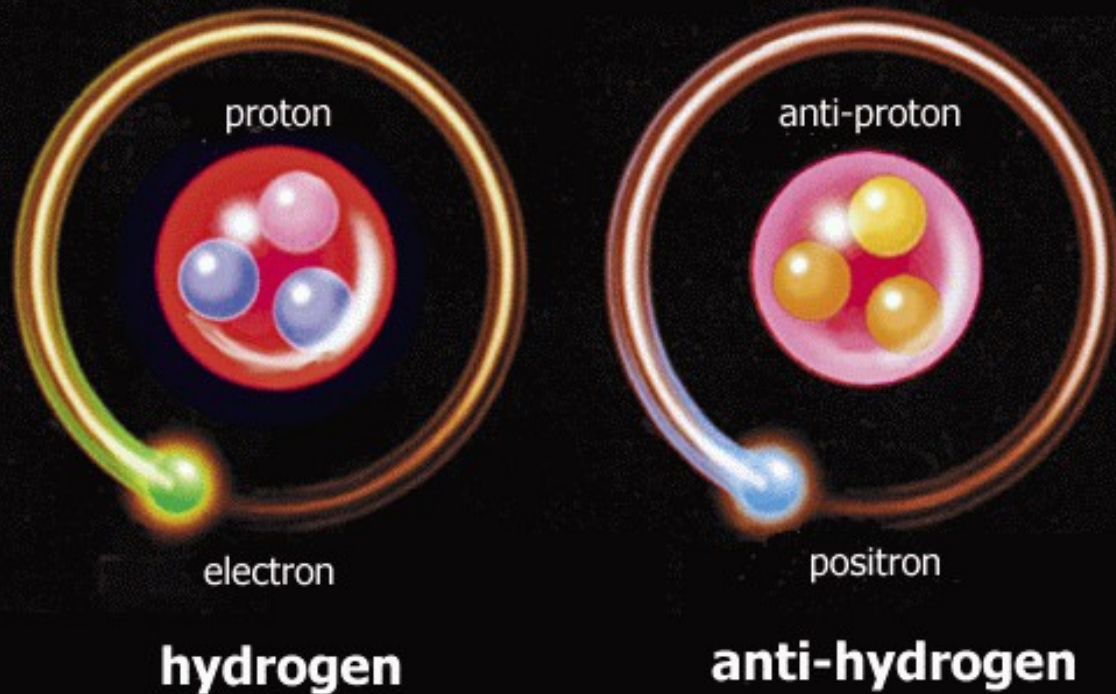
24h 12h 6h 1h

(click arrows for detailed view)



FIZYKA JĄDROWA W MEDYCYNIE

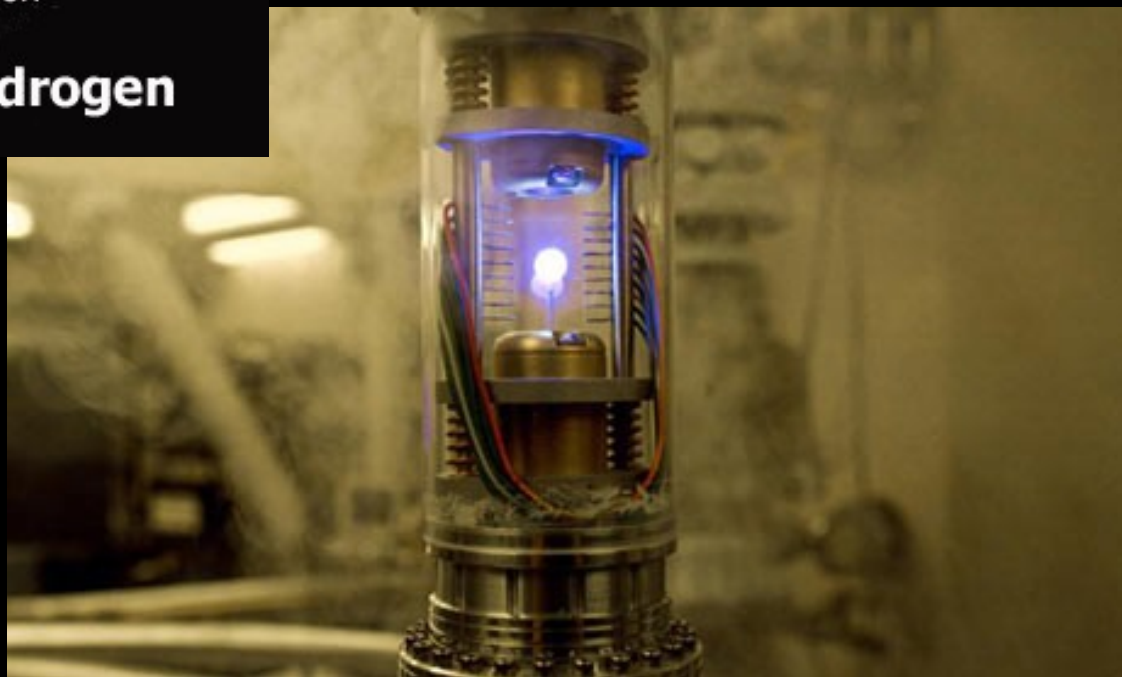




Czym jest antymateria?

Ta sama masa, przeciwny ładunek

Czy antymaterię możemy zaobserwować, złapać i uwięzić?



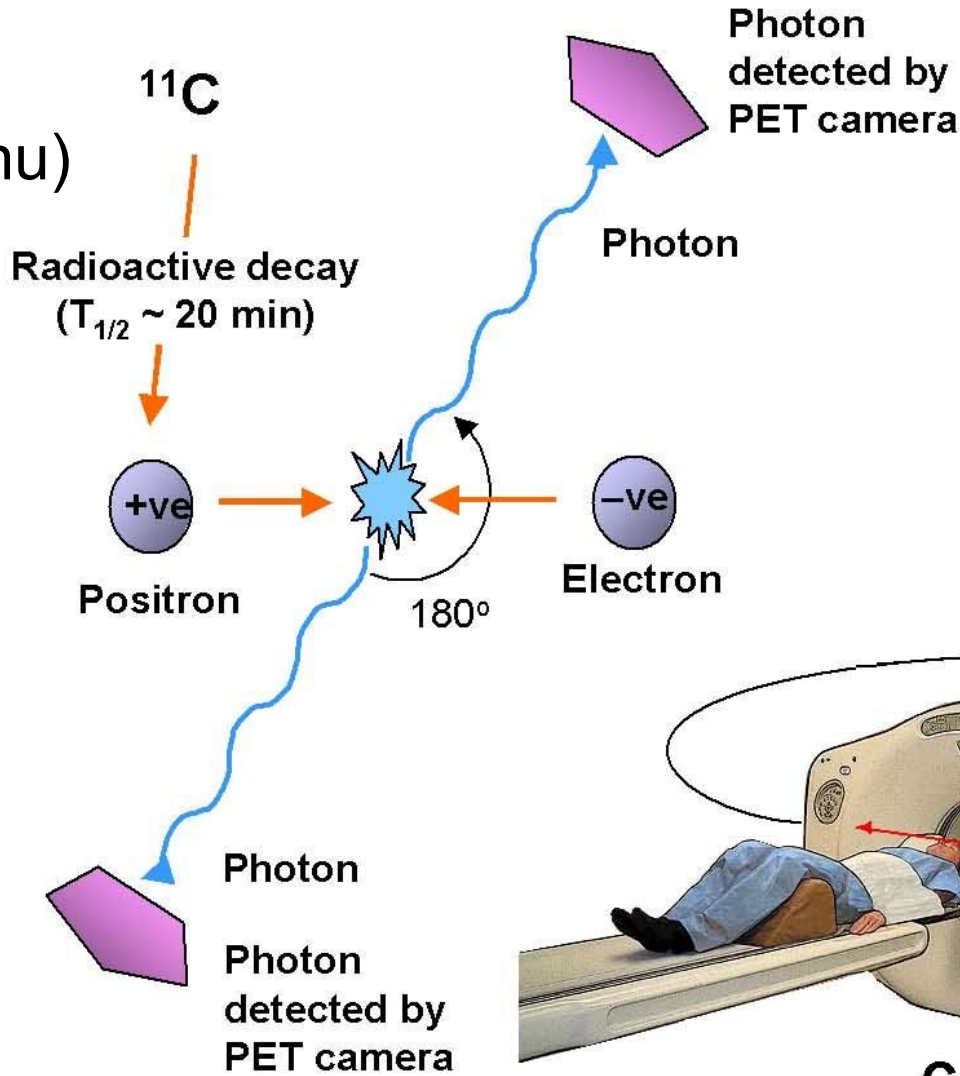


Radiofarmaceutyki, tomografia PET

Rozpad beta+
(emisja pozytonu)

Pierwiastki:

^{11}C , ^{13}N ,
 ^{15}O , ^{18}F

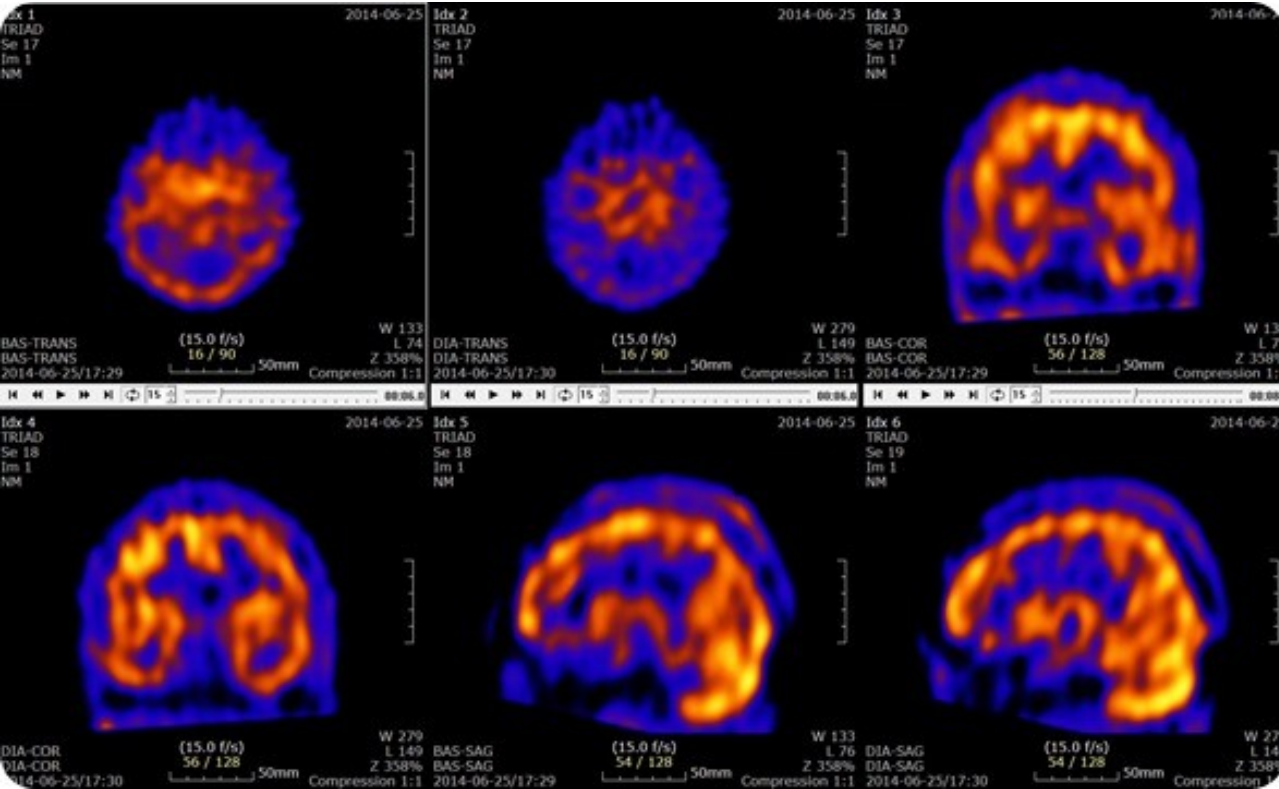


PET scan

3-D images
and
occupancy
data

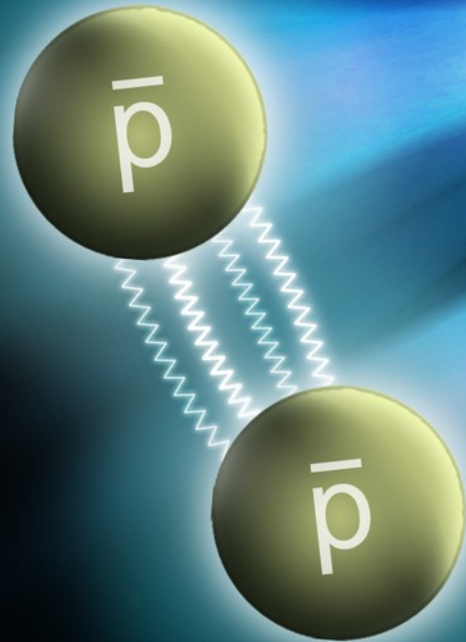
Camera

Tomografia emisyjna pojedynczych fotonów



<https://www.news-medical.net>

Oddziaływanie między antymaterią → takie samo jak między materią

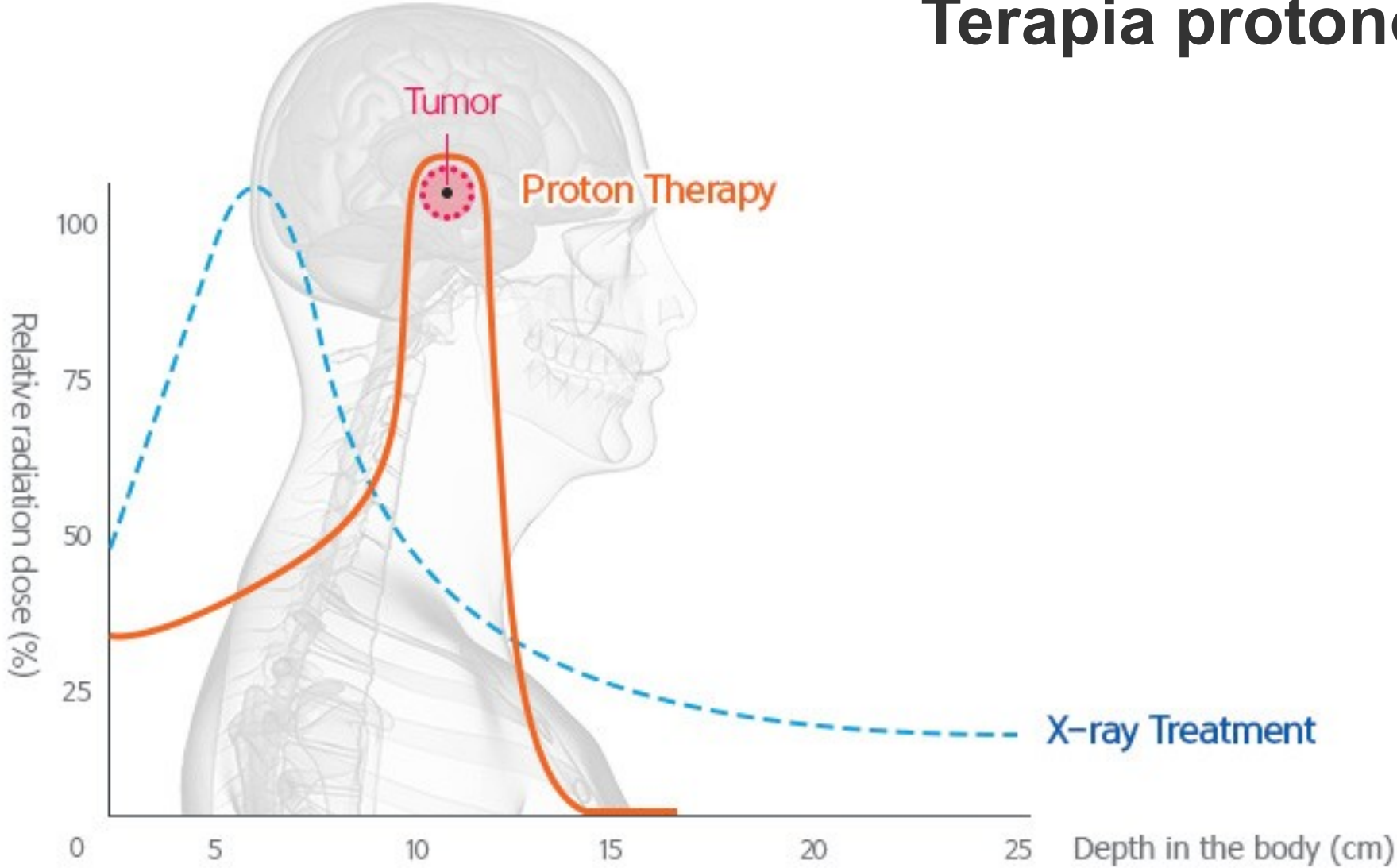




Akceleratory w fizyce medycznej

→ Radioterapia

Terapia protonowa

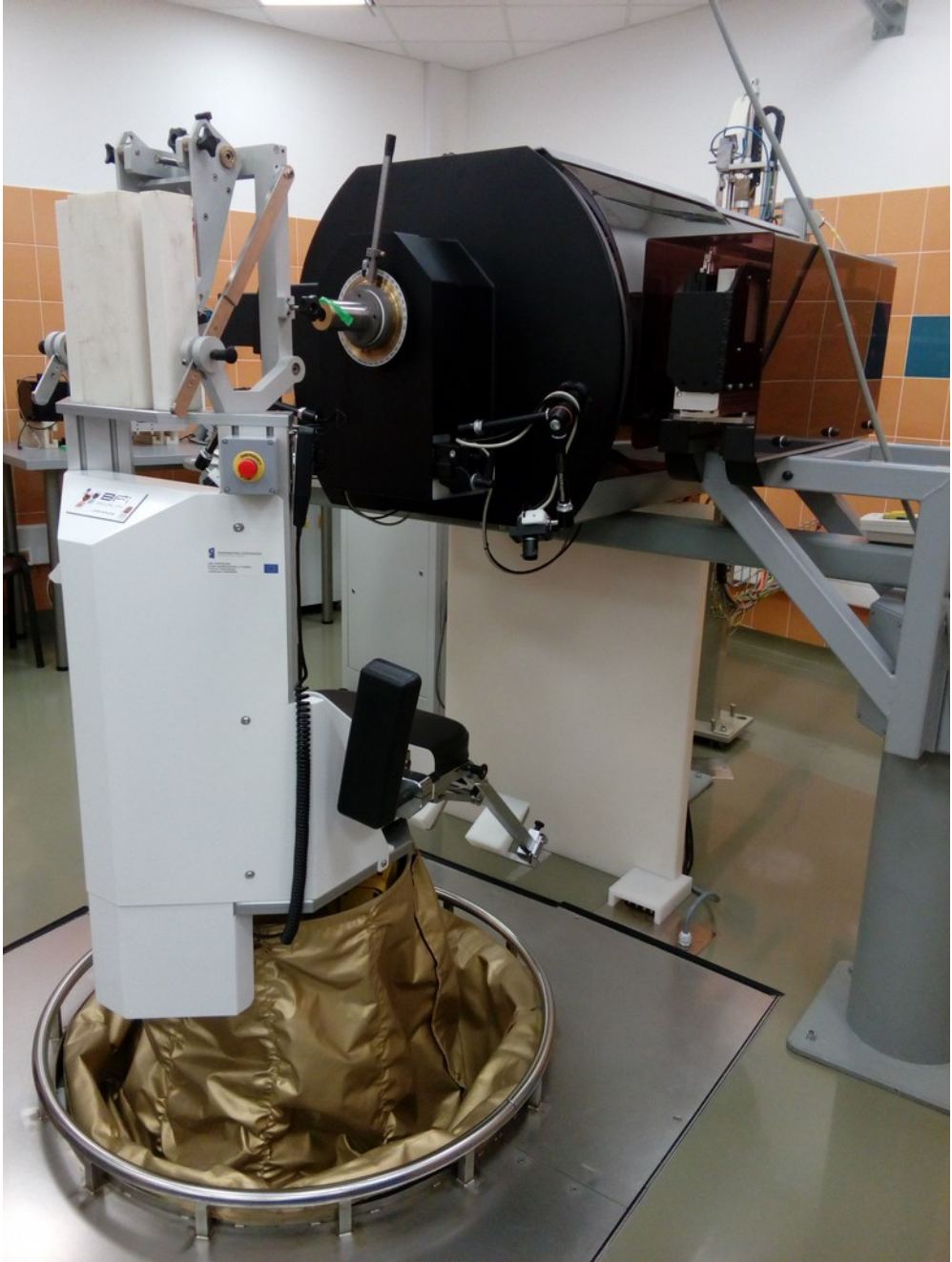


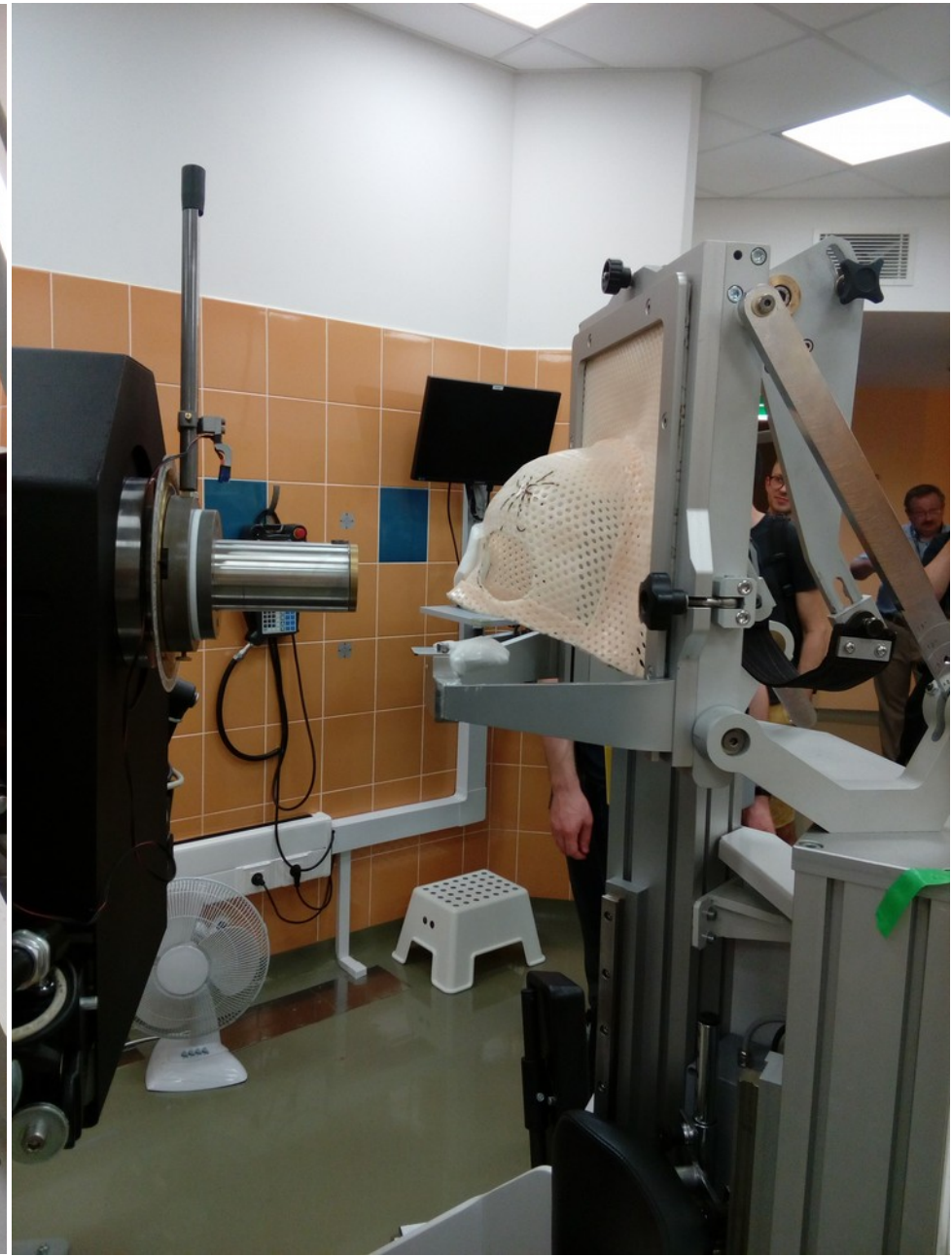
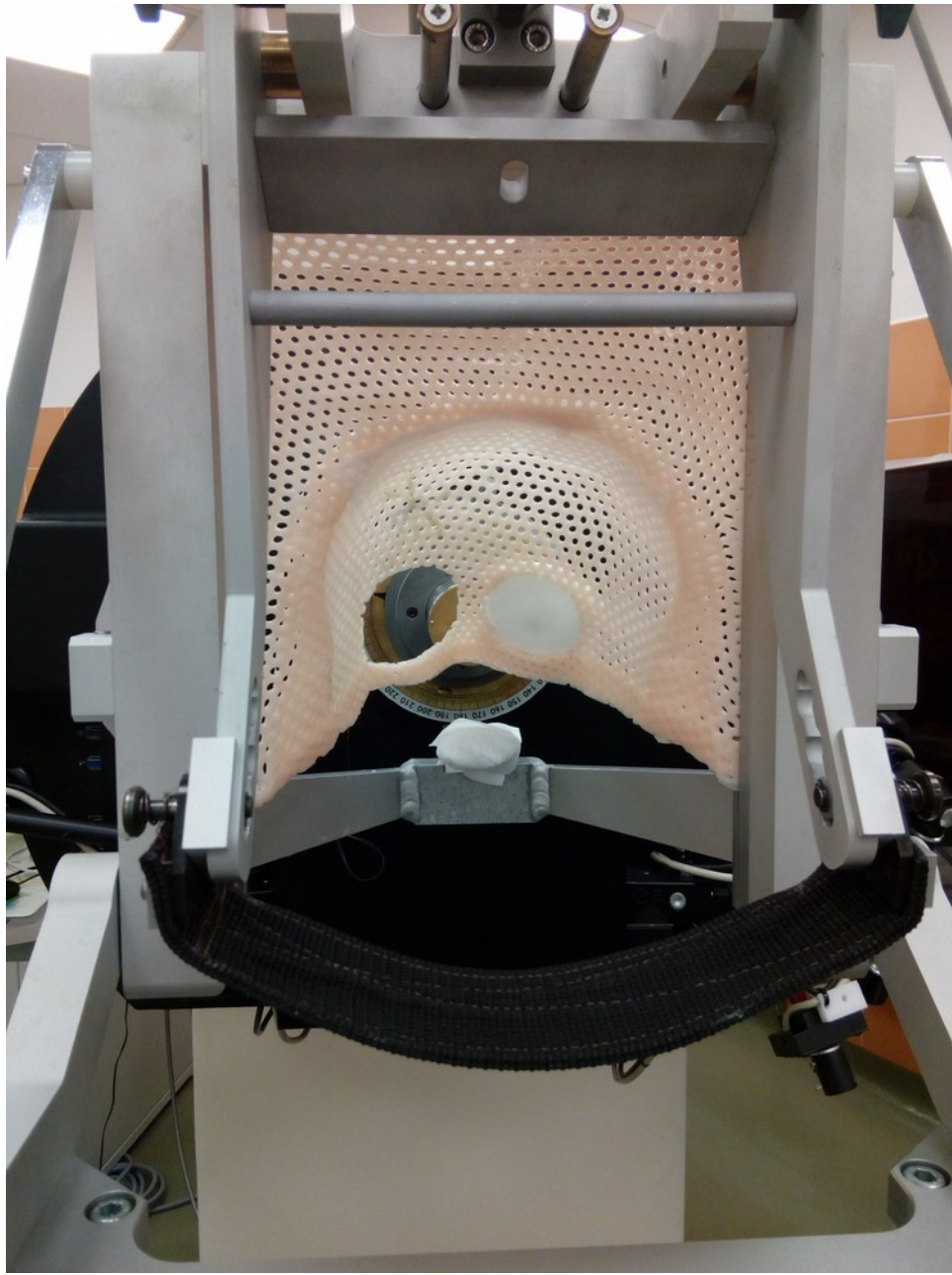
Terapia protonowa w Polsce

Centrum Cyklotronowe
Bronowice



Cyklotron Proteus C-235





Tu jest obszar naszych zainteresowań

EWOLUCJA WSZECHŚWIATA

po 13,7 miliardach lat

Dzisiaj

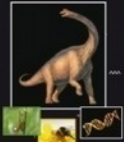


Dzisiaj w CERN-ie cofamy się w czasie i badamy jak powstawała materia

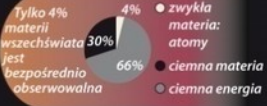
-270°C

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

4000°C

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



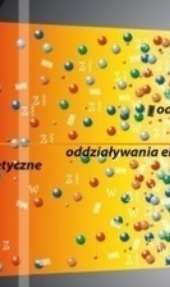
oddziaływania słabe, oddziaływania elektromagnetyczne

Wszechświat ma promień 300 milionów kilometrów

10¹⁵°C

po 10⁻²⁰ sekundy

Plazma kwarkowo gluonowa



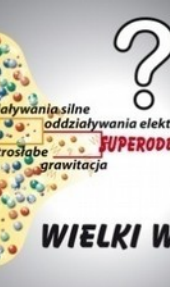
oddziaływania słabe, oddziaływania elektromagnetyczne

Wszechświat ma wielkość jabłka

10²⁷°C

po 10⁻³⁵ sekundy

Plazma kwarkowo gluonowa



oddziaływania silne, oddziaływania elektrodrowe, SUPERODDZIAŁYWANIA, grawitacja

Wszechświat jest nieskończenie małym punktem

10³²°C

Obszar badań LHC po 10⁻²⁵ sekundy

10²⁷°C

Proton, Neutron, Mezon

Kwark, Elektron, Neutrino

Foton, Oddziaływanie słabe

Oddziaływanie silne

WIELKI WYBUCH



+ fizyka medyczna + metody obliczeniowe

Slajdy dodatkowe

The Nobel Prize in Physics 1978

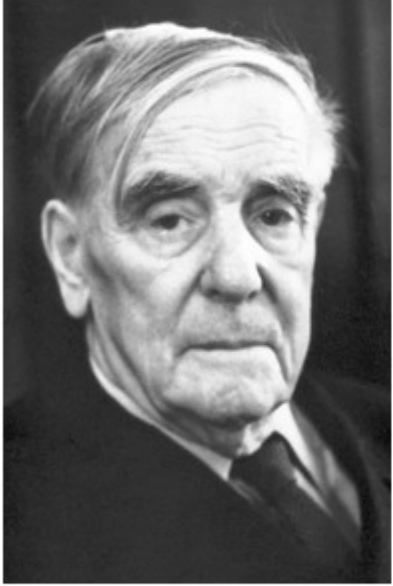


Photo from the Nobel Foundation archive.

**Pyotr Leonidovich
Kapitsa**

Prize share: 1/2



Photo from the Nobel Foundation archive.

Arno Allan Penzias

Prize share: 1/4



Photo from the Nobel Foundation archive.

**Robert Woodrow
Wilson**

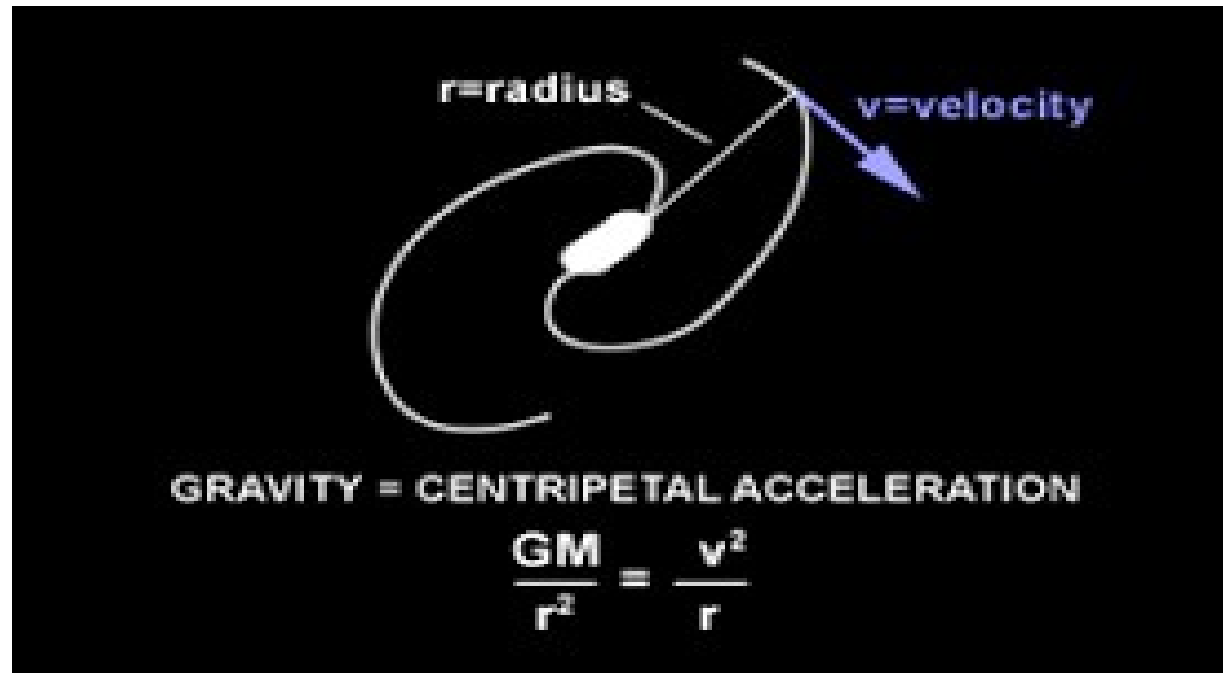
Prize share: 1/4

Arno Allan Penzias and
Robert Woodrow Wilson
"for their discovery of
cosmic microwave
background radiation."

Przypadkowe odkrycie w 1964 r.

Ciemna materia – przesłanki

Obserwacje dynamiki galaktyk spiralnych – wymagana masa kilka razy większa niż widoczna



Gromada galaktyk Abell 1656 (Coma)



<https://apod.nasa.gov/apod/ap990328.html>

Lata 1930-ste:

Fritz Zwicky

Prędkość ~ 400 x większa niż
wynika z widocznej materii

Zwicky, F. 1933, *Helv. Phys. Acta* 6, 110

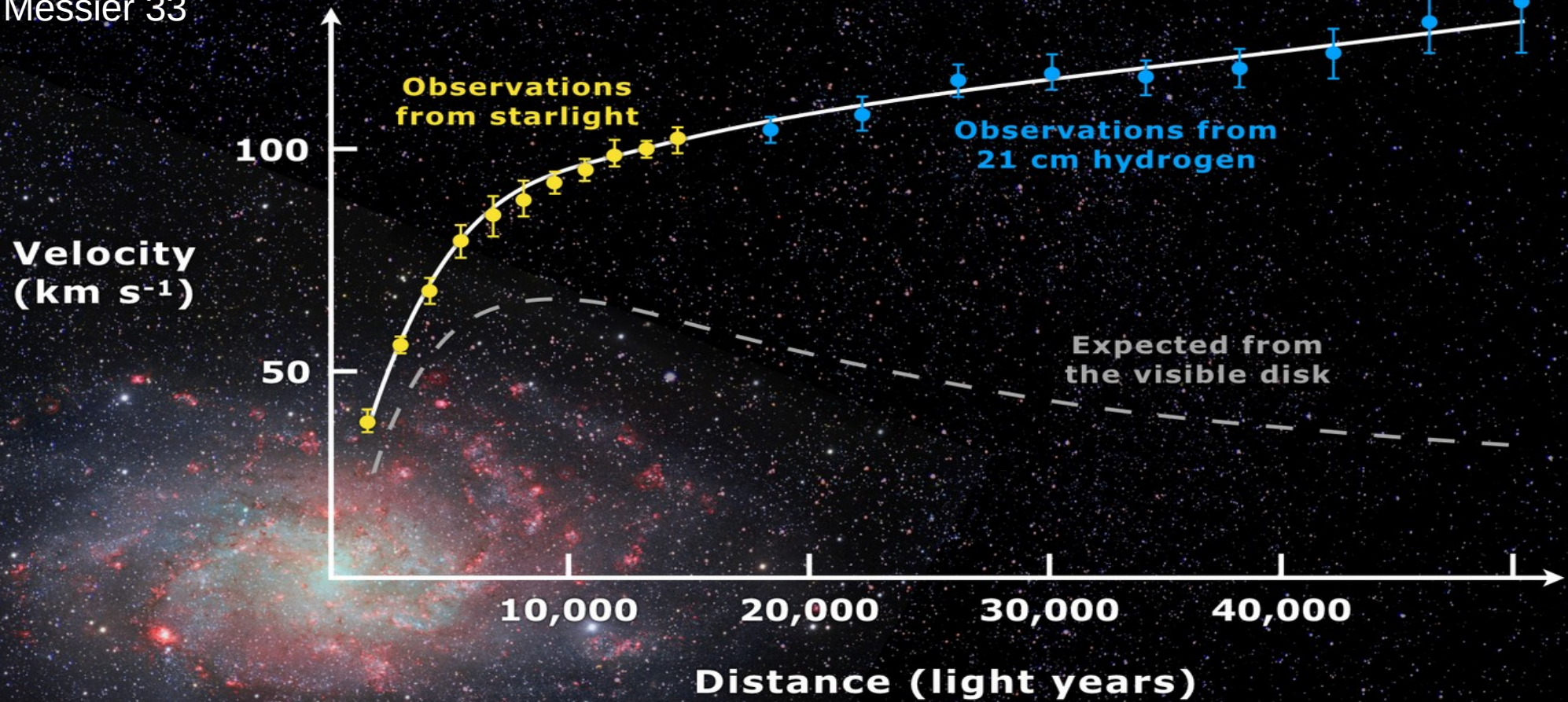
Vera C. Rubin, Kent Ford



lata 1970-te: obserwacje krzywych rotacji galaktyk



Messier 33



By Mario De Leo, CC BY-SA 4.0

Soczewki grawitacyjne



Gromada 1E 0657-56 ("bullet cluster.")

**Ciemna
materia**

**Materia
barionowa
(„zwykła”)**

<http://chandra.harvard.edu/photo/2006/1e0657/>

