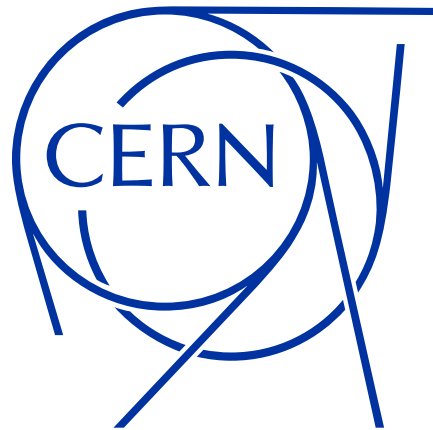




Podstawy Fizyki Cząstek

Model Standardowy

CERN MASTERCLASSES

Tomek Mróz

20 marca 2025



**INSTYTUT FIZYKI JĄDROWEJ
IM. HENRYKA NIEWODNICZAŃSKIEGO
POLSKIEJ AKADEMII NAUK**

Podstawy Fizyki Cząstek

Model Standardowy

1. Wprowadzenie
2. Świat wokół nas
3. Atomy i cząsteczki
4. Pierwiastki
5. Cząstki elementarne
6. Jak było na początku – Wielki Wybuch
7. Co znamy a czego jeszcze nie, czyli ciemna masa i ciemna energia.
8. Podsumowanie

Wprowadzenie

Mechanika kwantowa opisuje przyrodę jako absurdalną z punktu widzenia zdrowego rozsądku. I w pełni zgadza się z doświadczeniem. Mam więc nadzieję, że zaakceptujecie naturę taką, jaka jest – absurdalną

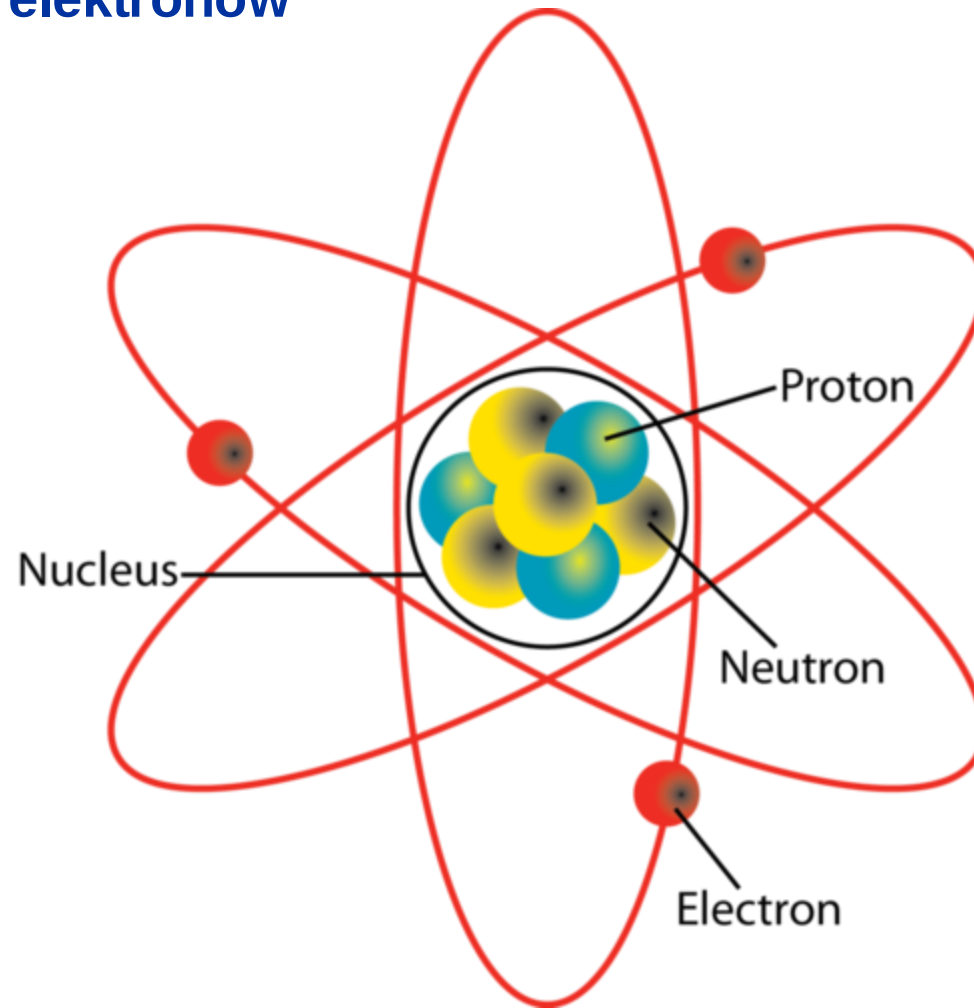
Richard Feynman

Świat wokół nas



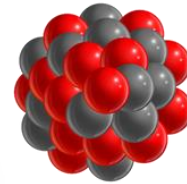
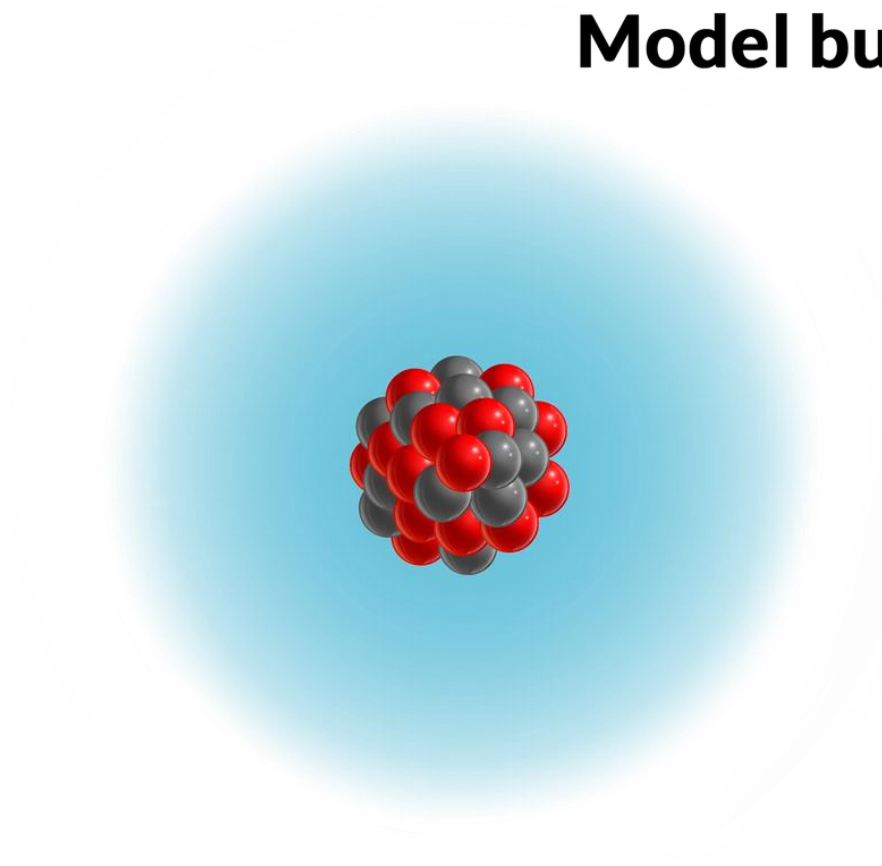
Atom

uproszczona reprezentacja elektronów



Atom

Model budowy atomu



JĄDRO ATOMOWE



PROTON

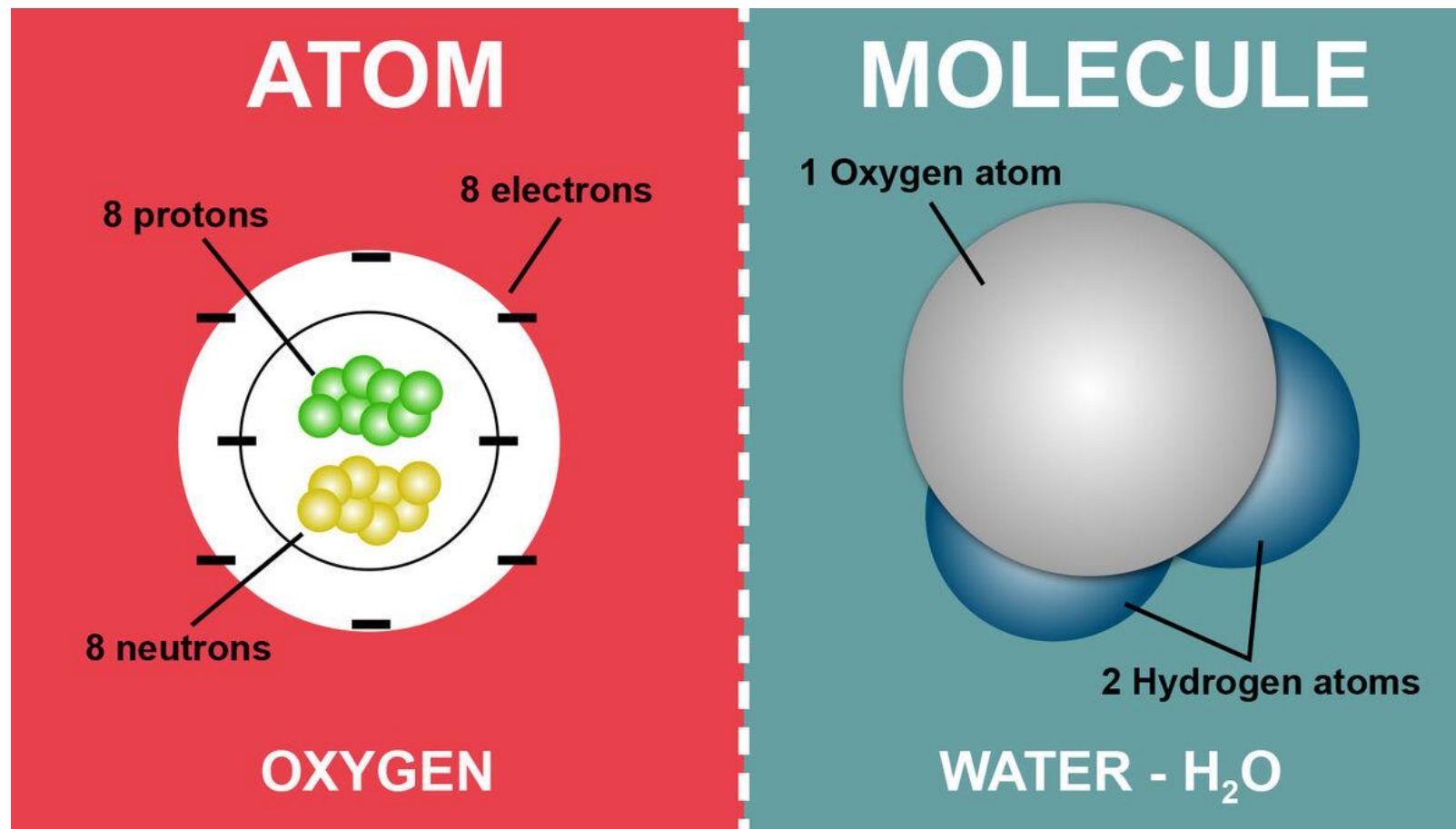


NEUTRON

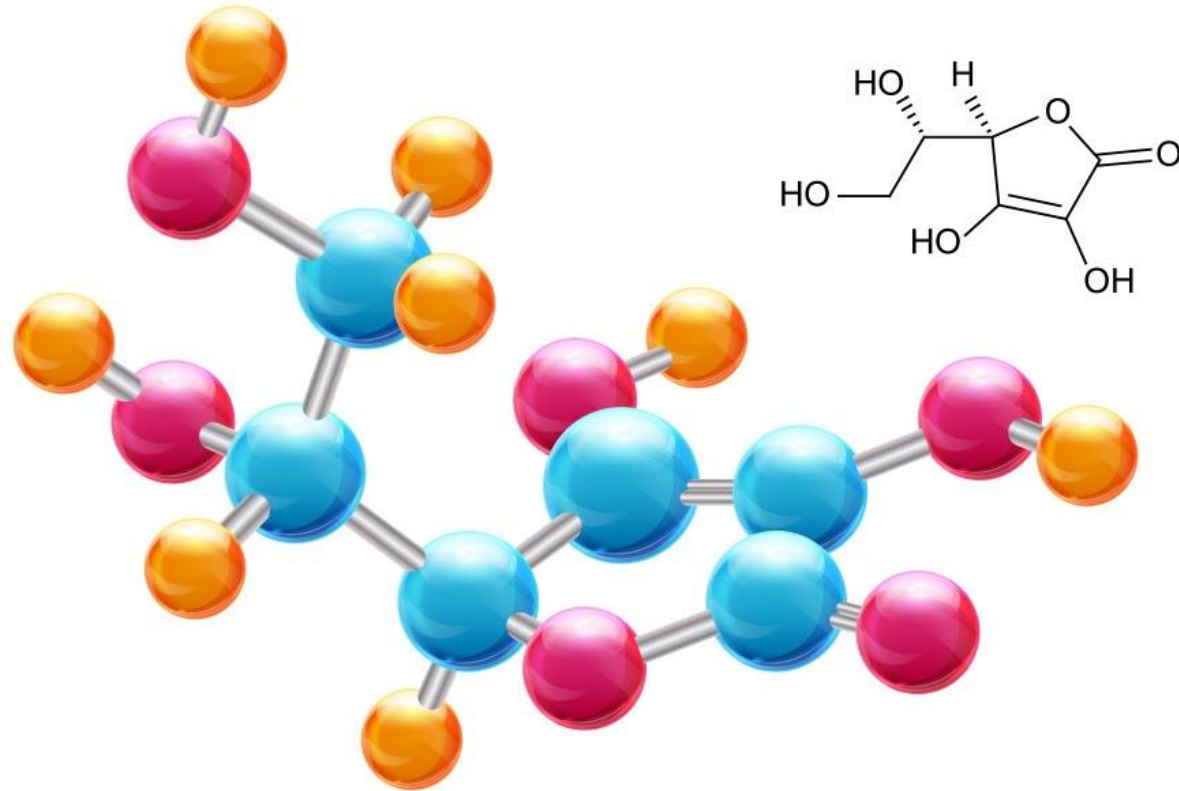


CHMURA ELEKTRONOWA

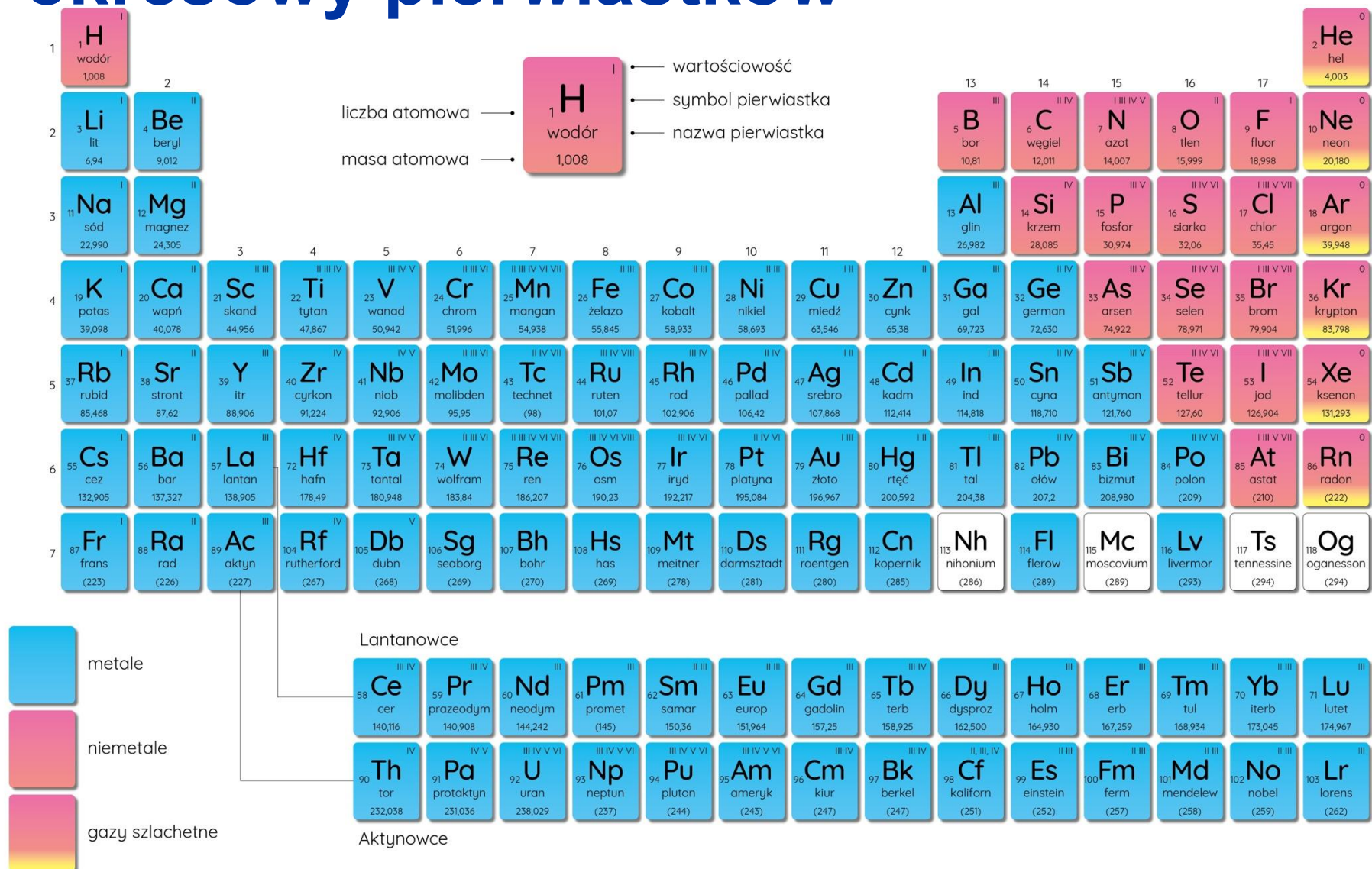
Cząsteczki



Witamina C

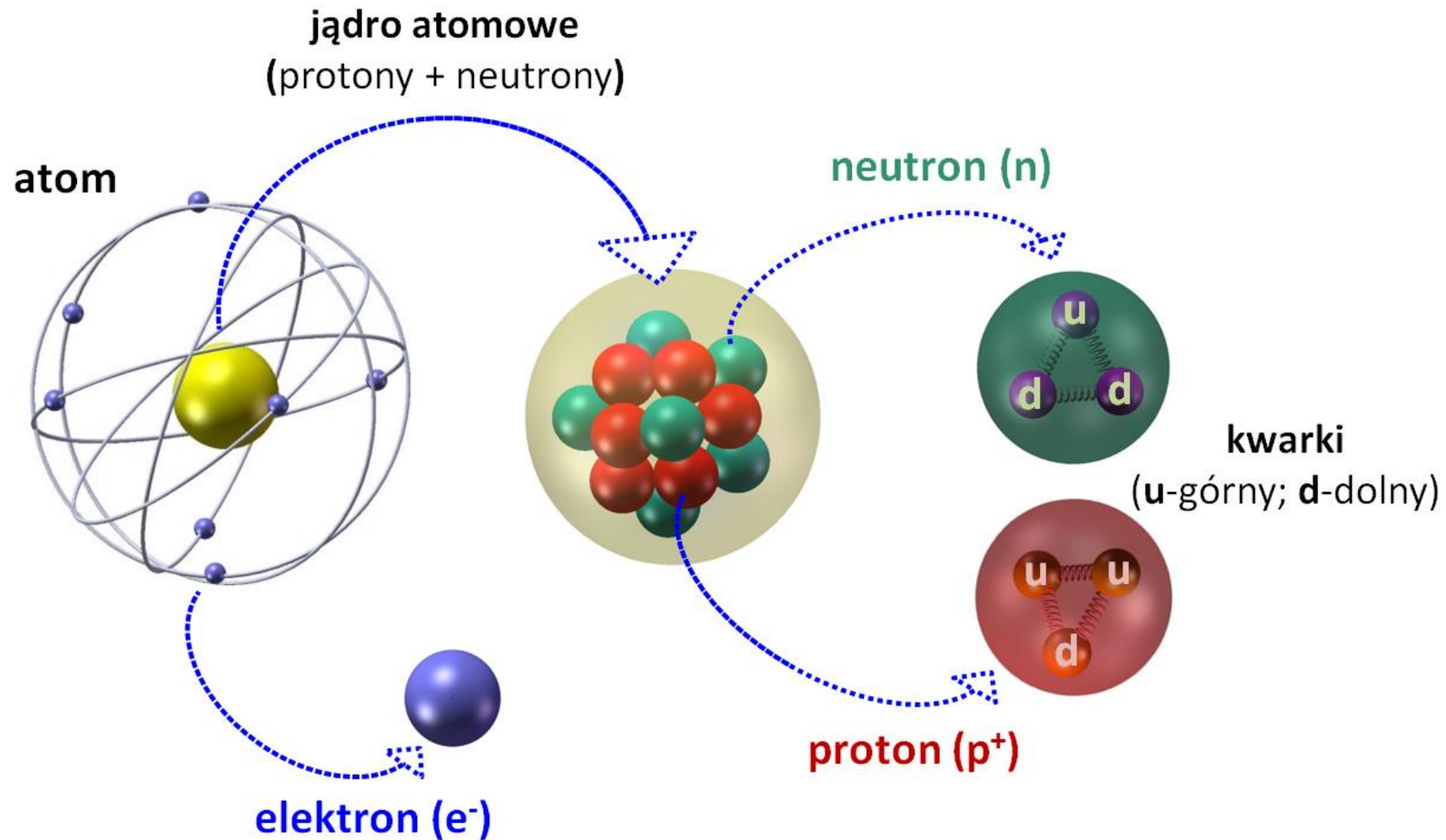


Układ okresowy pierwiastków



Cząstki elementarne

Modelu Standardowego

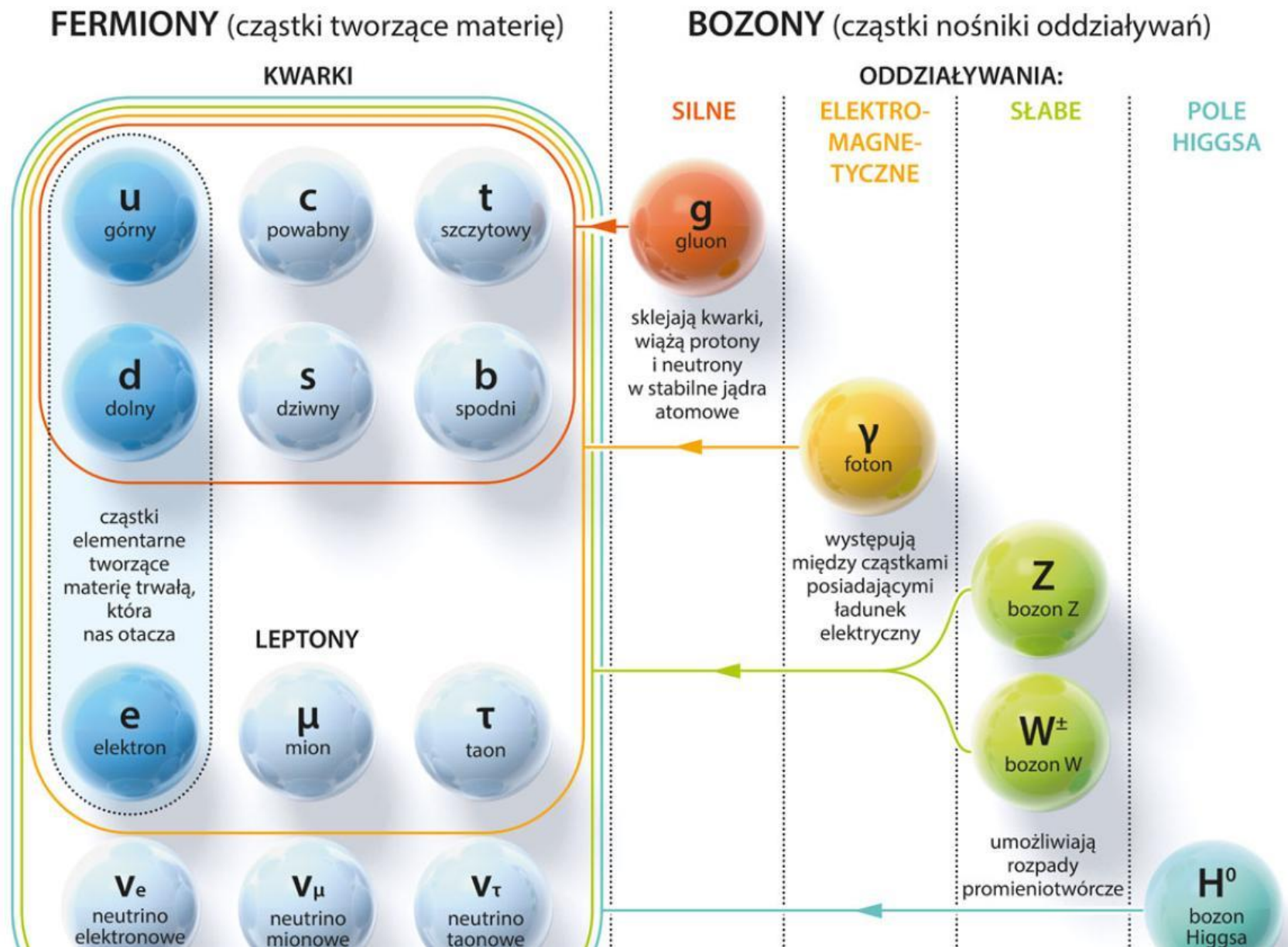


Cząstki elementarne – tworzące codzienną materię

Modelu Standardowego



MODEL STANDARDOWY



Standard Model of Elementary Particles

three generations of matter (elementary fermions)			three generations of antimatter (elementary antifermions)			interactions / force carriers (elementary bosons)		
	I	II	III	I	II	III		
mass	$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 124.97 \text{ GeV}/c^2$
charge	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$-\frac{2}{3}$	$-\frac{2}{3}$	$-\frac{2}{3}$	0	0
spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	0
QUARKS	u up	c charm	t top	$\bar{u}$ antiup	$\bar{c}$ anticharm	$\bar{t}$ antitop	g gluon	H higgs
	d down	s strange	b bottom	$\bar{d}$ antidown	$\bar{s}$ antistrange	$\bar{b}$ antibottom	γ photon	
	e electron	μ muon	τ tau	e^+ positron	$\bar{\mu}$ antimuon	$\bar{\tau}$ antitau	Z Z^0 boson	
LEPTONS	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	$\bar{\nu}_e$ electron antineutrino	$\bar{\nu}_\mu$ muon antineutrino	$\bar{\nu}_\tau$ tau antineutrino	W^+ W^+ boson	W^- W^- boson
	$< 2.2 \text{ eV}/c^2$	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$	$< 18.2 \text{ MeV}/c^2$	$< 2.2 \text{ eV}/c^2$	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$	$< 18.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 80.360 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 80.360 \text{ GeV}/c^2$
	0	0	0	0	0	0	1	-1

GAUGE BOSONS
VECTOR BOSONS

SCALAR BOSONS

Masy cząstek elementarnych



Wielki Wybuch

Początek Wszechświata

$$E = mc^2$$



Big Bang

Universe Age

Cosmic Dark Ages
380,000 years

First Stars
< 180 million years

Black Holes and Accretion disks
250 million years

Reionization

Modern Galaxies

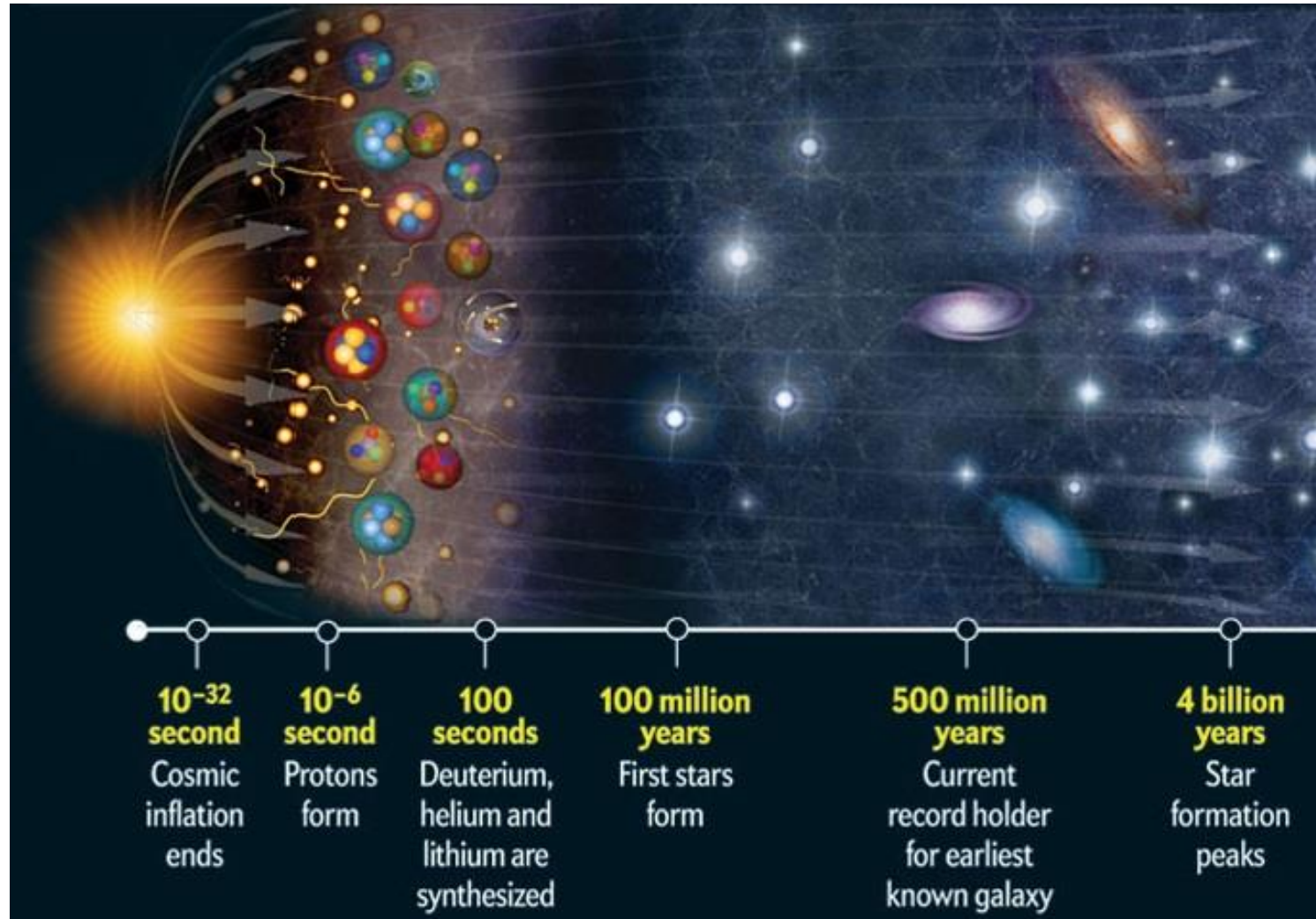
13.8 billion years

Now



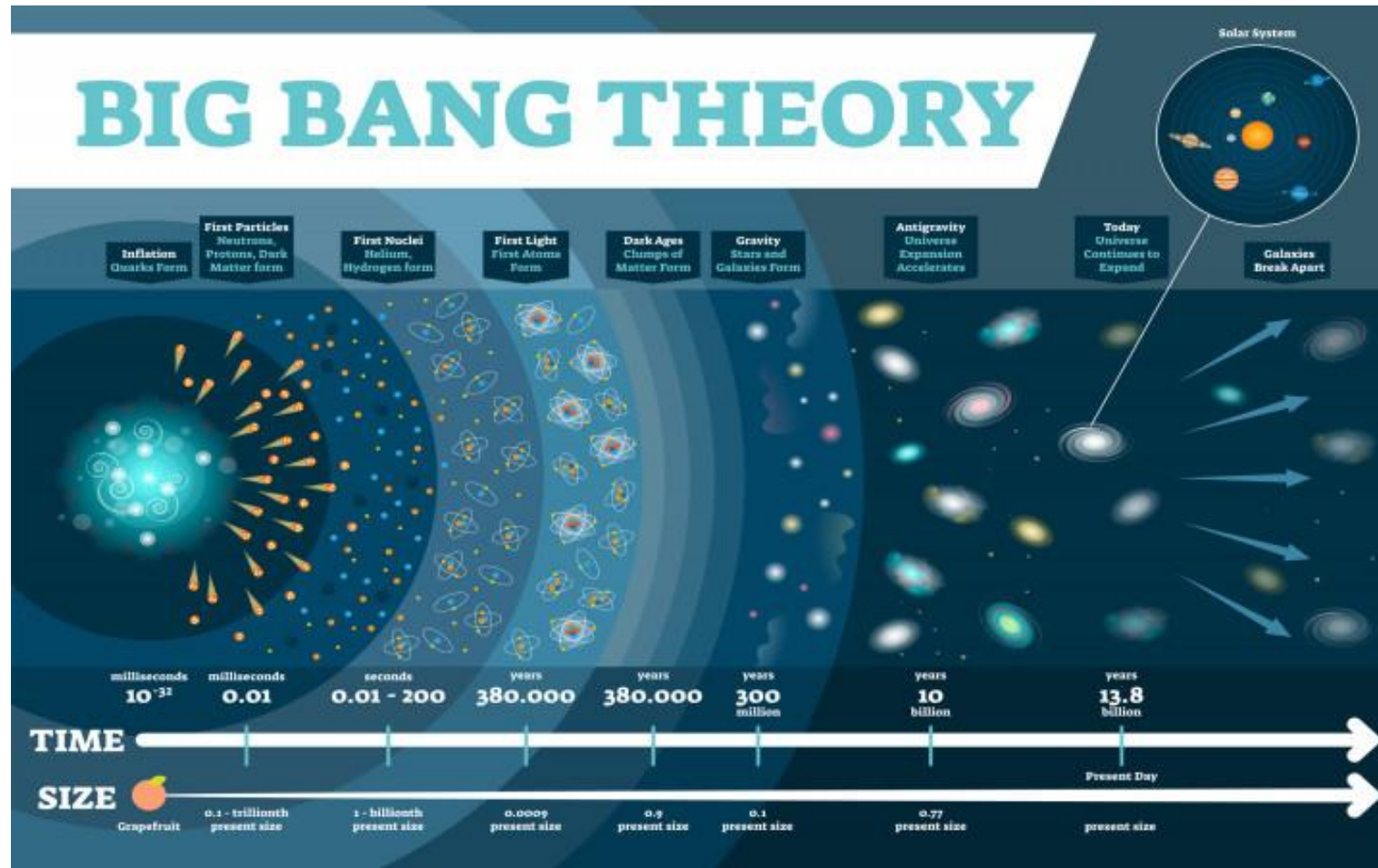
Wielki Wybuch

Początek Wszechświata

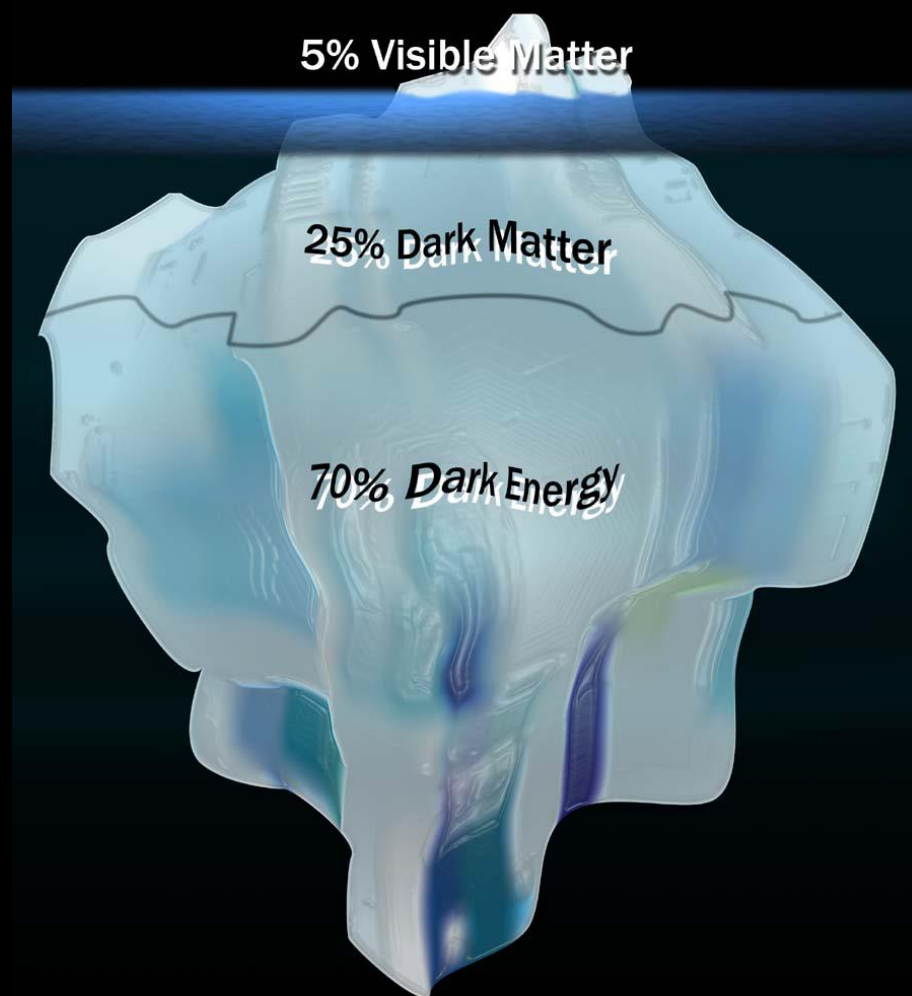


Wielki Wybuch

Początek Wszechświata



Zagadki wszechświata



Zagadki wszechświata

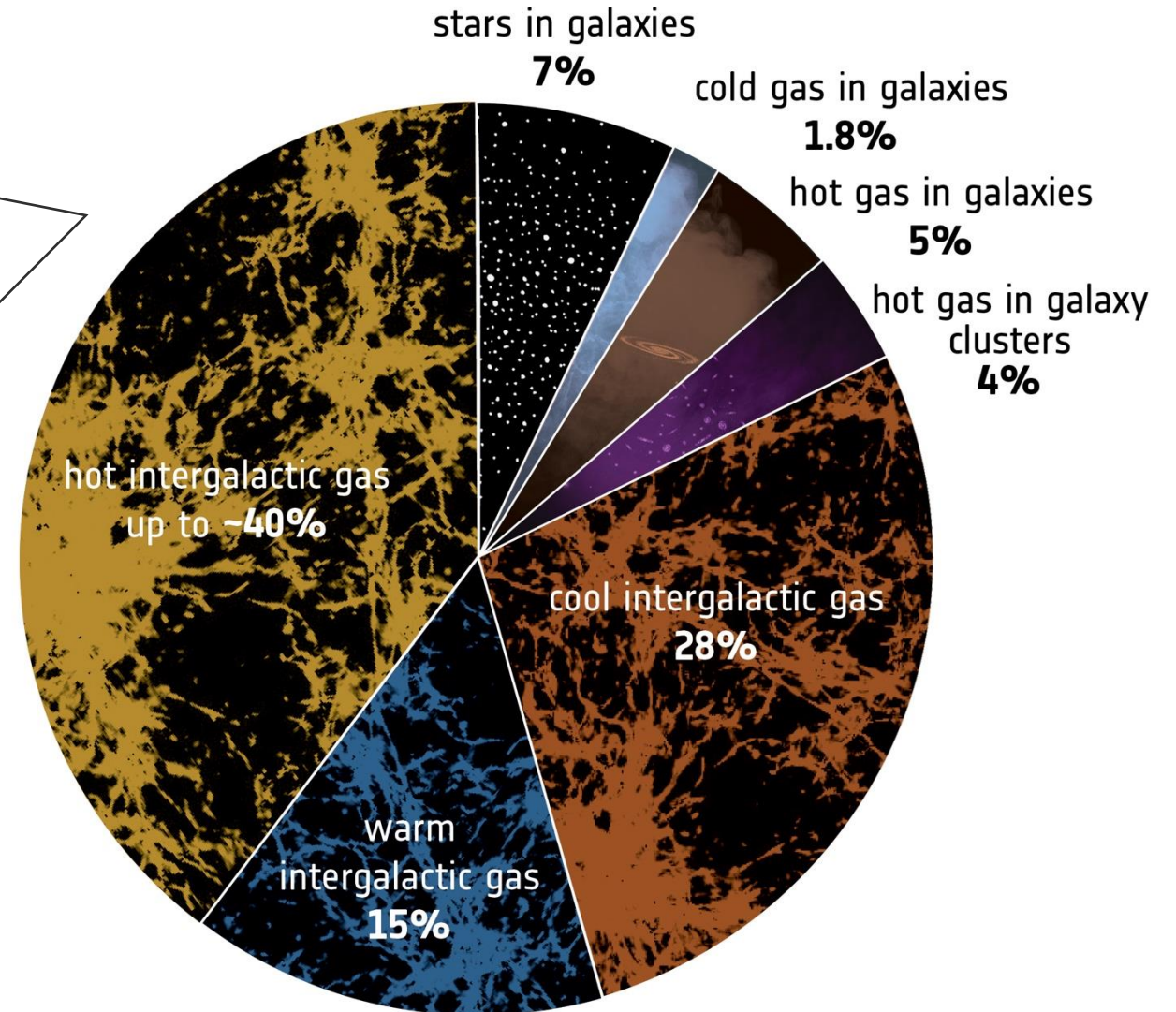
Nieznana, widoczna w ruchach galaktyk i gwiazd

ordinary matter
5%

dark matter
25%

dark energy
70%

Przyspieszająca ekspansja, odwrotna do grawitacji, odpychanie



Podsumowanie

- **Najbardziej podstawowe budulce naszej materii to cząstki elementarne**
- **Cząstki dzielą się na te budujące materię i te noszące oddziaływania**
- **Do zbudowania znanej nam materii wystarczy użyć trzech cząstek : u, d, e**
- **Wszystkie cząstki obecne były w momencie powstania Wszechświata**
- **Nośnik oddziaływania grawitacyjnego: grawiton nie został jeszcze zaobserwowany**
- **Wielki Wybuch: ogromna ilość energii przekształciła się w materię**
- **Wielu rzeczy nie wiemy: ciemna masa, ciemna materia, mniej antymaterii i wiele innych**

Pytania i odpowiedzi?

Dziękuję za uwagę

