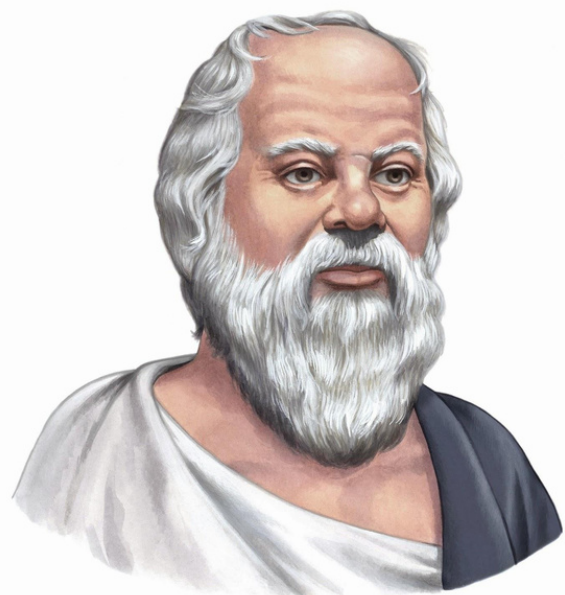


# STANDARTINIS MODELIS IR JO PATIKRINIMAS CERN

VYTAUTAS DŪDĒNAS



Sokrates

# Platono "Timajas" (360 m. pr. Kr.)



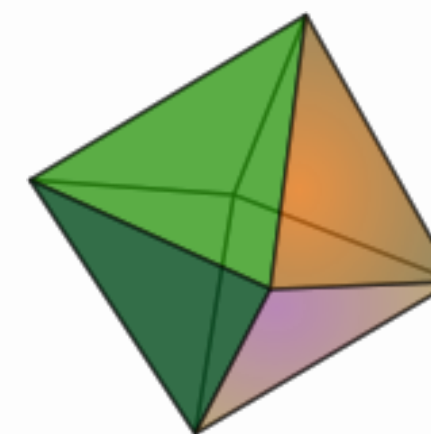
Timajas...(?)

Teorija apie "visybę" sudarytą iš geometrinių formų: trikampių, žiedų, tetraedrų, oktaedrų; įvardijamos matematinės proporcijos ir t. t., bet

*"<...> turime tik žmonių prigimtį; taigi, pasitenkinus tikėtinu mitu apie svarstomus dalykus, nedera ieškoti nieko vertingiau."*

Kuklu, nes niekas negirdėjo apie mokslinį metodą... Gal nenorėjo labai įžeisti dievų.

Gal galime visgi tikėtis kažko daugiau?...



# Mokslinis metodas

1. Stebėjimas / klausimas
2. Lauko (literatūros) apžvalga
3. Hipotezė
4. Eksperimentas
5. Duomenų analizė
6. Išvados, įžvalgos, grįžk į 1.

Aristotelis pirmasis pasiūlė remtis eksperimentais ir sukūrė mokslinį metodą.



Aristotelis

## Empirinio mokslo teorija

1. Gali būti empiriškai paneigiama (Karl Popper).
2. Yra suderinama su visais atliktais eksperimentais ir duoda ne mažiau tikslias prognozes negu prieš tai buvusios

# Kuriame kambaryje mieliau būtumėte?



**Modelis  
(Teorija)**

Mokslinis metodas

**Realybė  
(Eksperimentas)**

# Simetrijos ir tvermės dėsniai

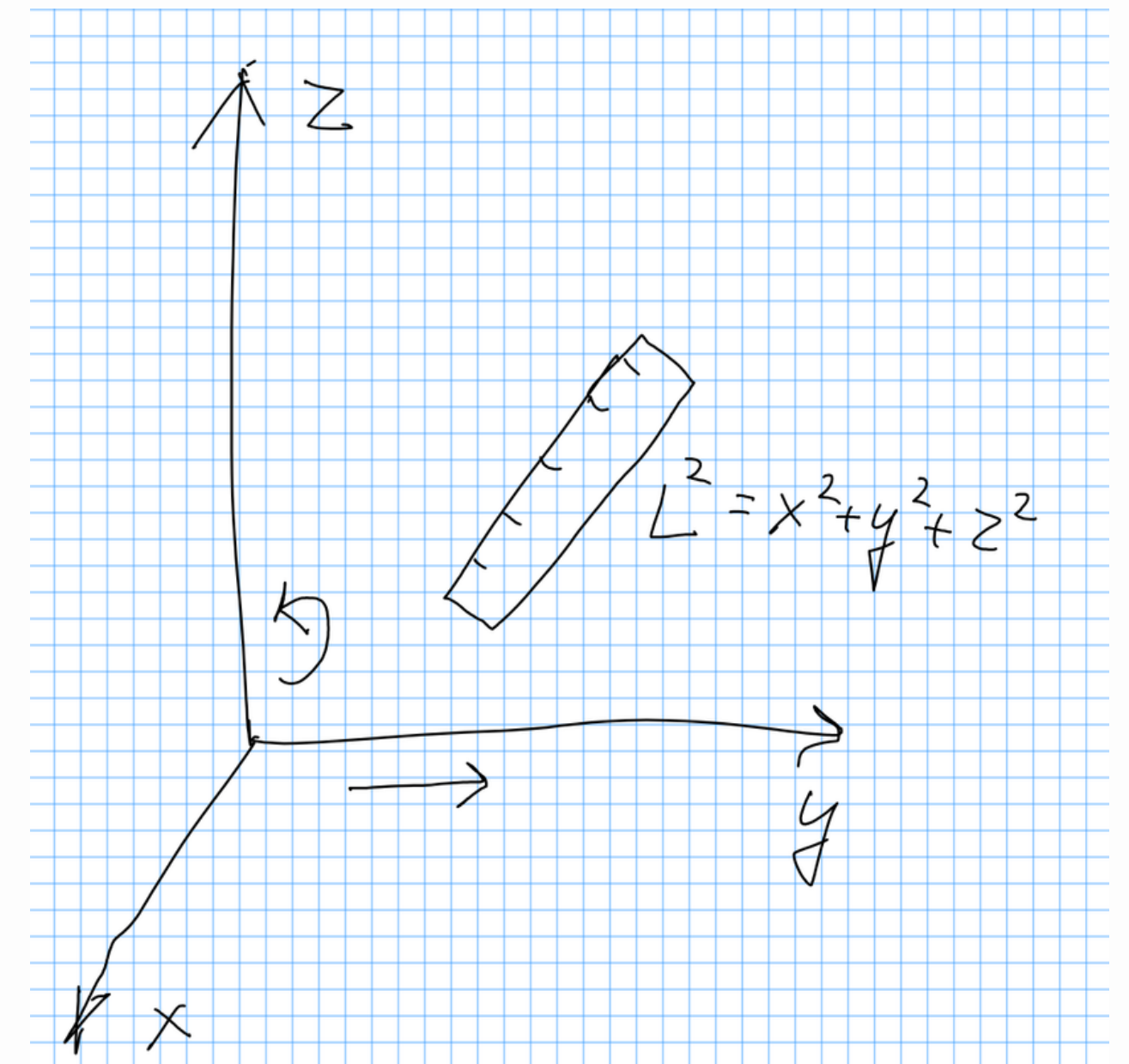
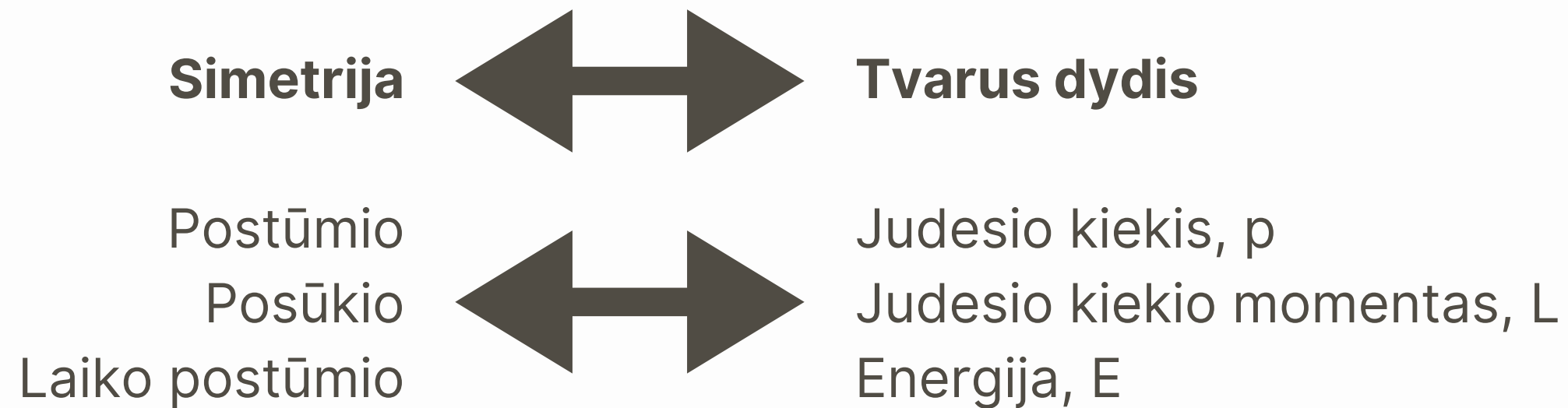
**Postūmio simetrija:** dėsniai Vilniuje = dėsniai Kaune

**Posūkių simetrija:** dėsniai kairėn = dėsniai dešinėn

**Laiko postūmio simetrija:** dėsniai šiandien = dėsniai rytoj

Sukiok ir stumdyk liniuotę kaip nori: jos ilgis nesikeis nei šiandien, nei rytoj.

## Noether teorema



# Reliatyvumo sąryšiai

Liniuotė turi laiko komponentę:

$$\ell^2 = c^2 t^2 - x^2 - y^2 - z^2$$

Iš to gaunamas garsusis sąryšis:

$$E^2 - c^2 (p_x^2 + p_y^2 + p_z^2) = m^2 c^4$$

Kai dalelė nejuda:

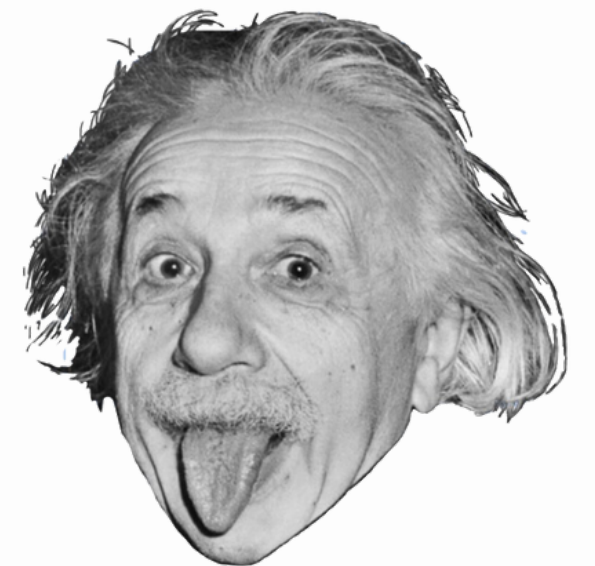
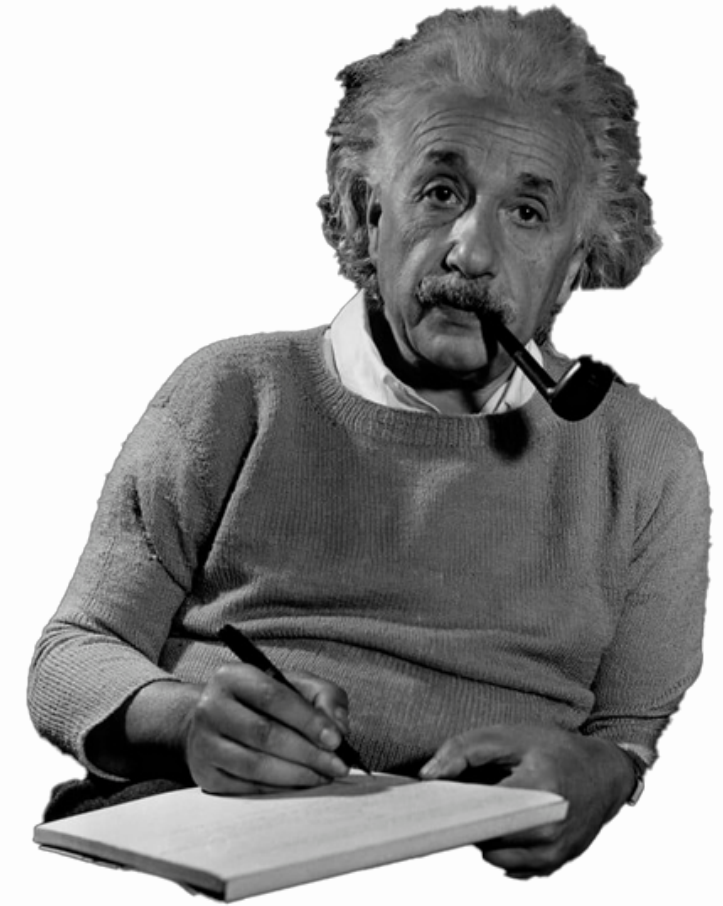
$$E = mc^2$$

Kai dalelė neturi masės, sklinda greičiu  $c$ .

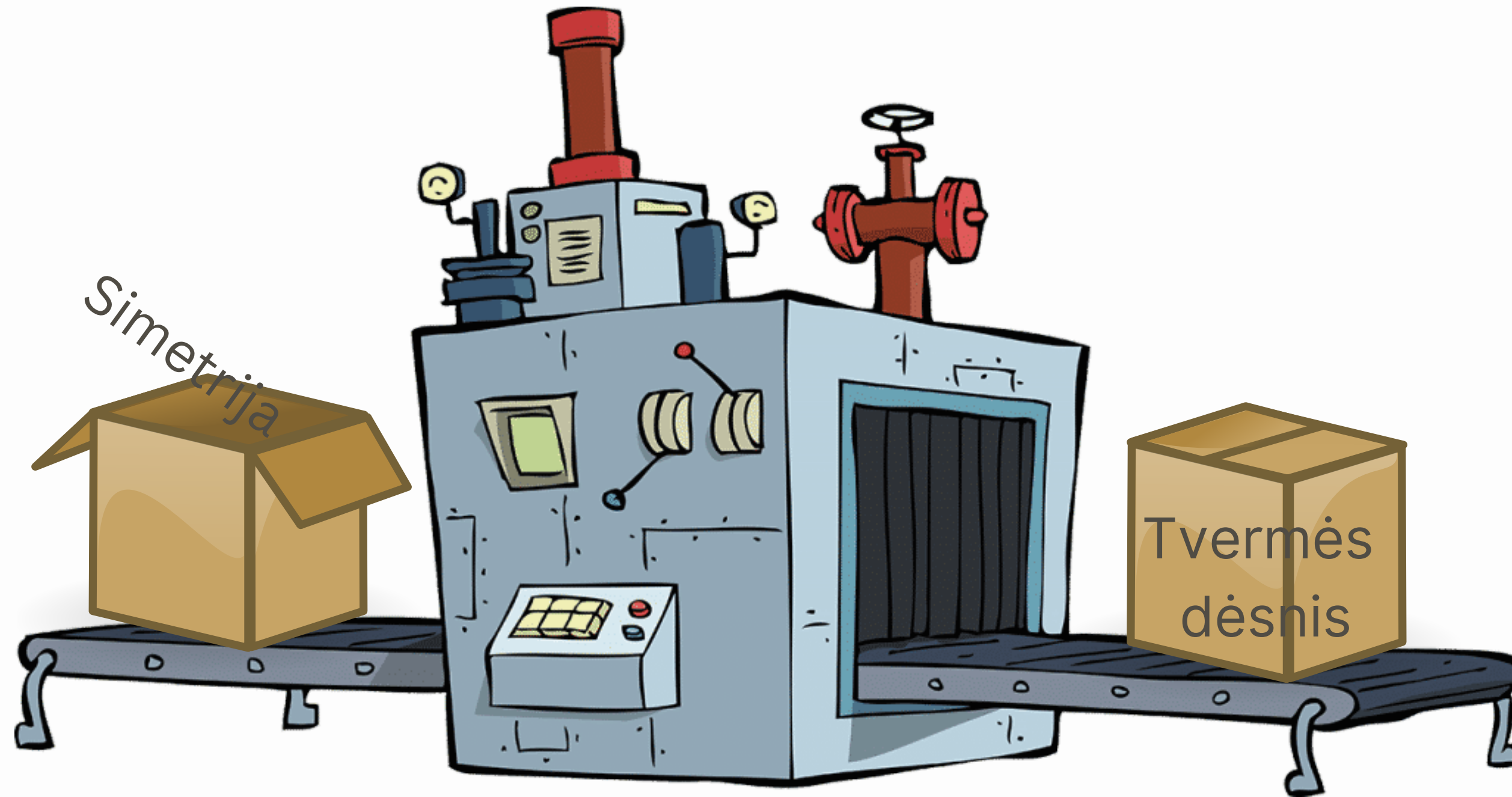
$$E = c |\vec{p}|$$

Energijos ir judesio kiekio tvermės dėsniai 4 dimensijose:

$$(E, p_x, p_y, p_z)_{\text{Pradinis}} = (E, p_x, p_y, p_z)_{\text{Galinis}}$$

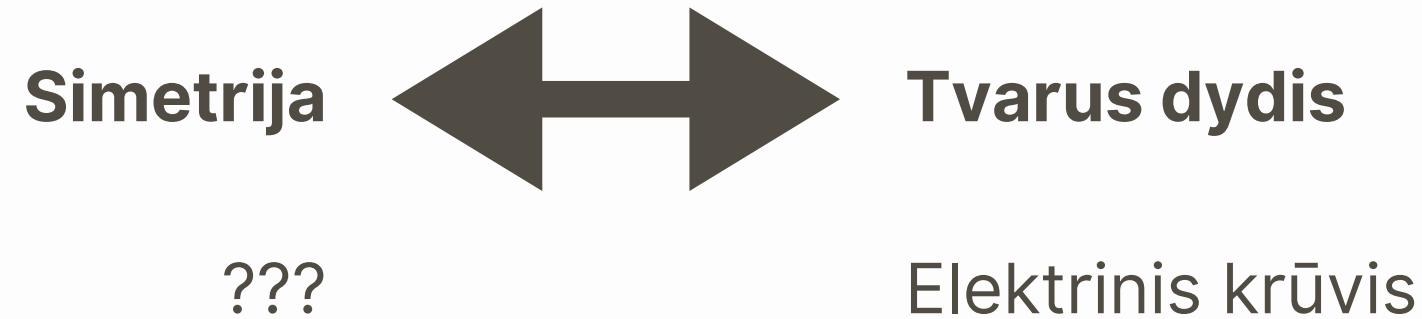


# Noether teorema

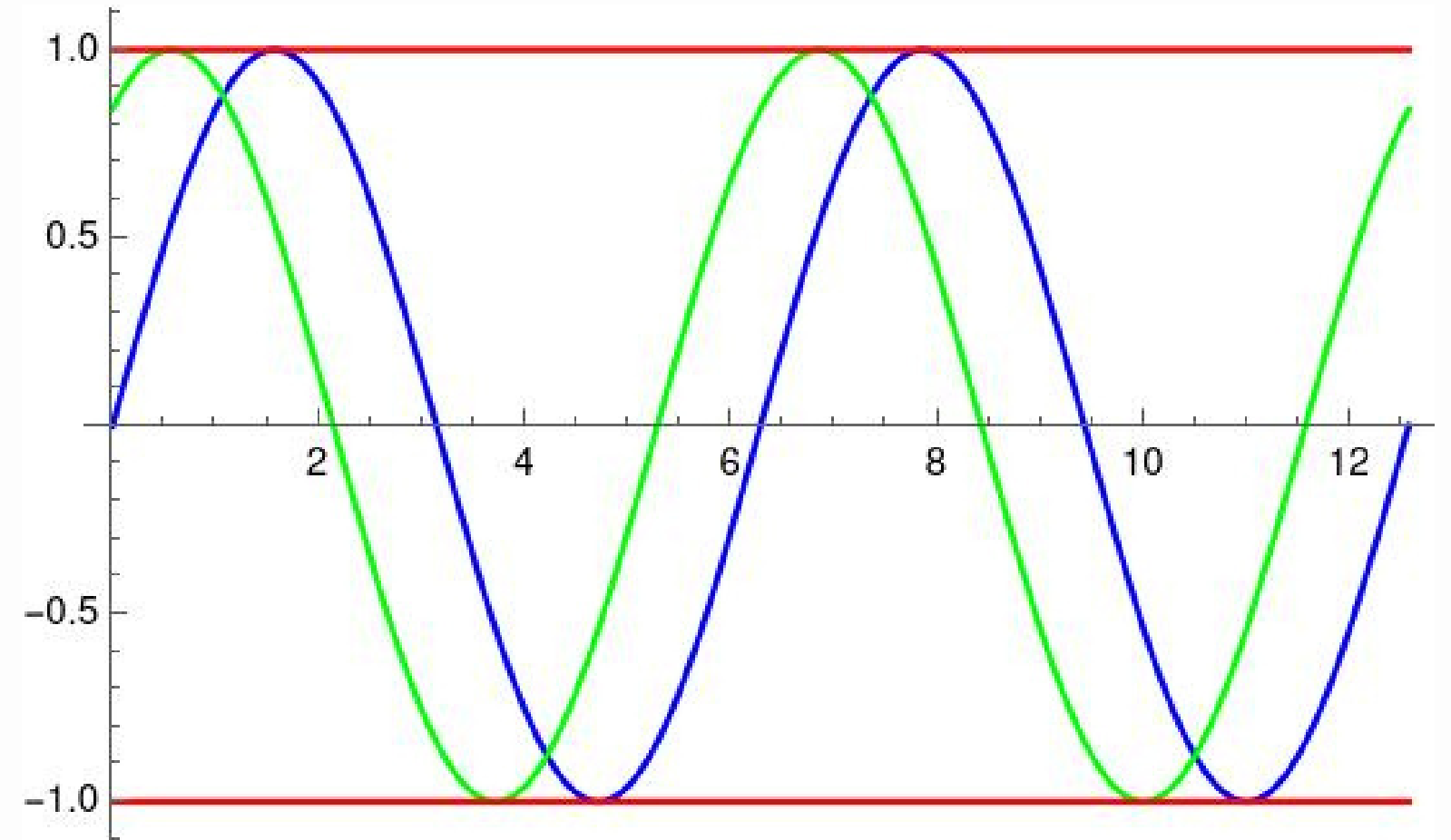


# Sąveika ir simetrija

## Noether teorema



- Dalelė yra banga, bet mes matuojame tik jos amplitudę.
- Ar banga pastumta į kairę ar į dešinę, amplitudė nekinta, reiškia...
- Dalelės turi **fazės poslinkio simetriją**.
- Fazės poslinkio simetrija užtikrina **krūvio tvermę**.
- Fazė negali “paslinkti” vienu metu visur (reliatyvumas).
- Kažkas turi “nunešti” fazės poslinkį greičiu  $c$ .

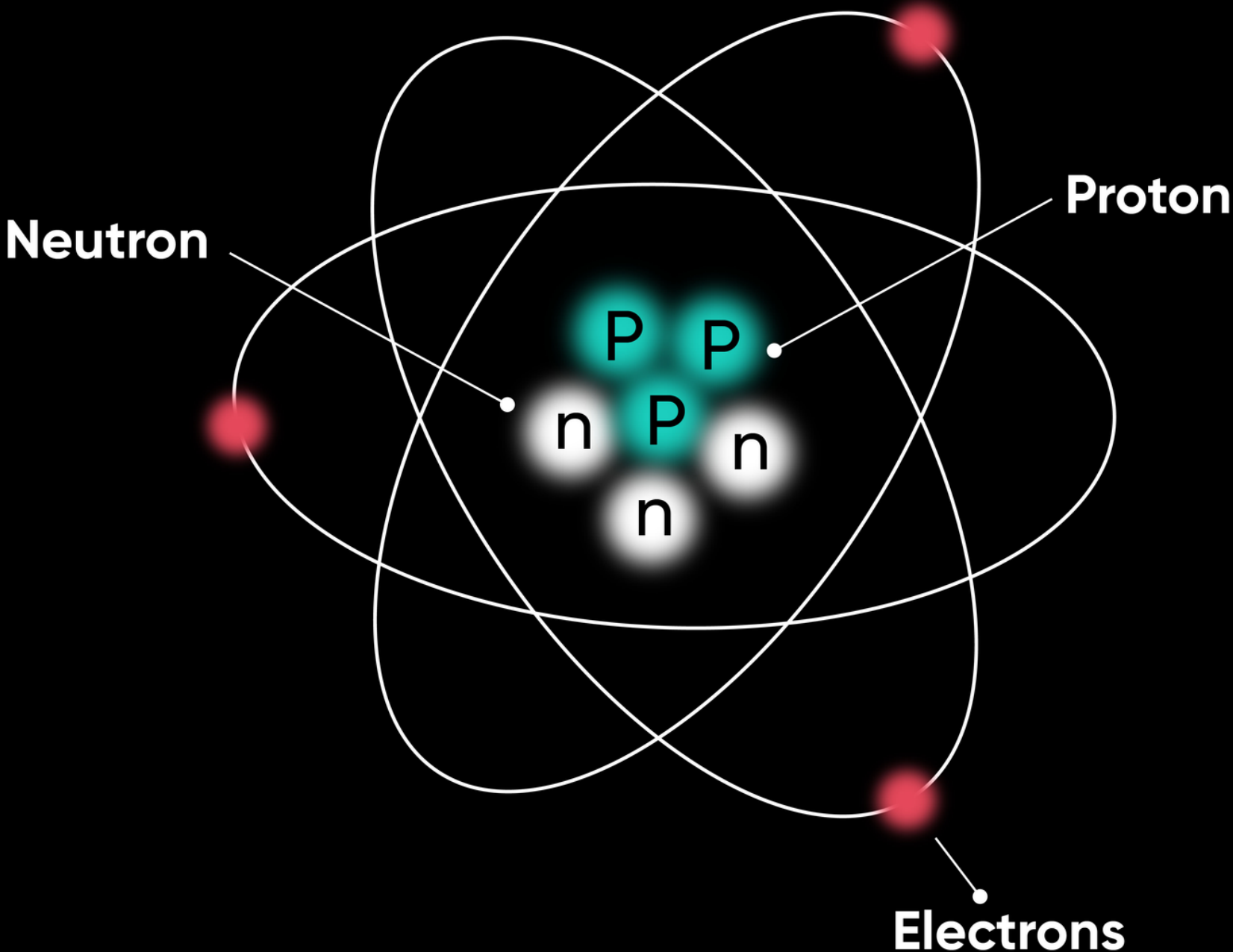


**Antidalelė:** identiška, bet priešingą krūvį turinti dalelė.

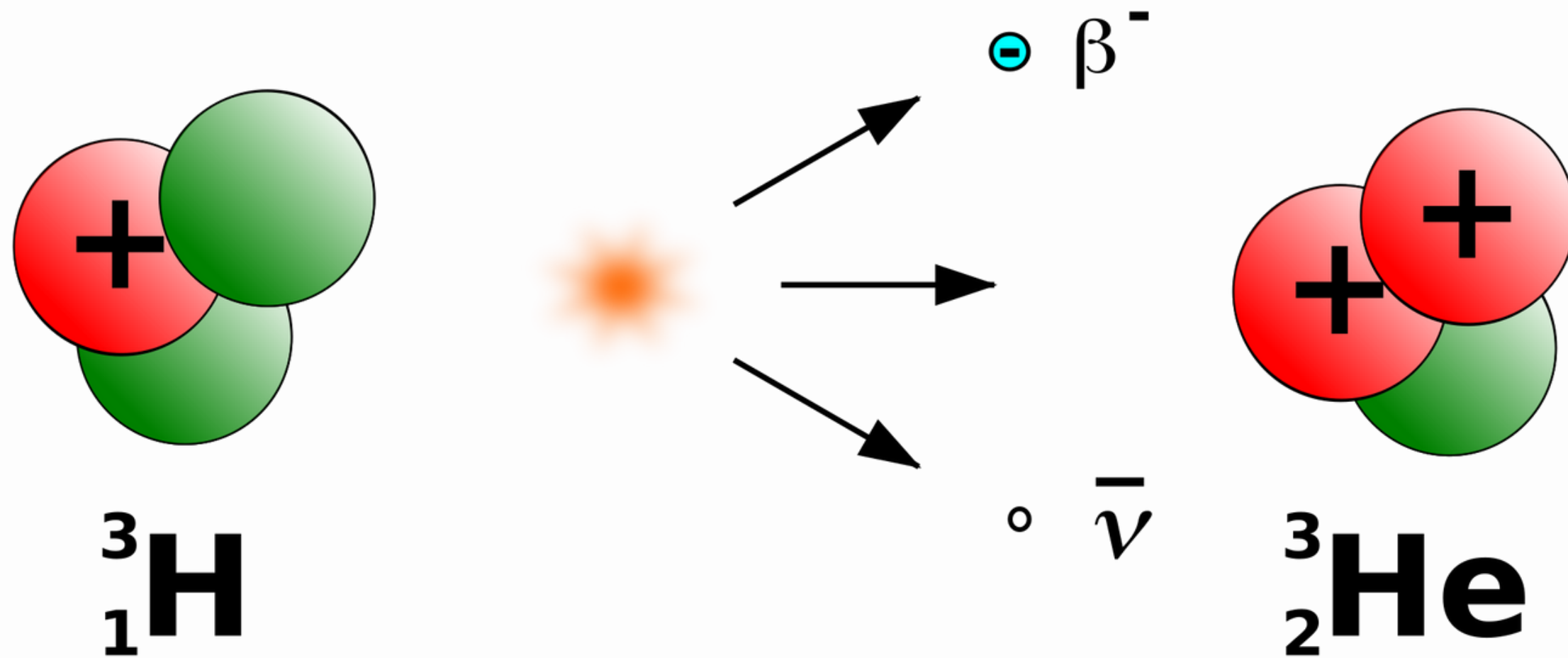
**Elektromagnetinę sąveiką perneša fotonas**



# ATOMS



Kodėl branduolys skyla?



# Silpnoji sąveika

Sugrupuokime daleles taip:

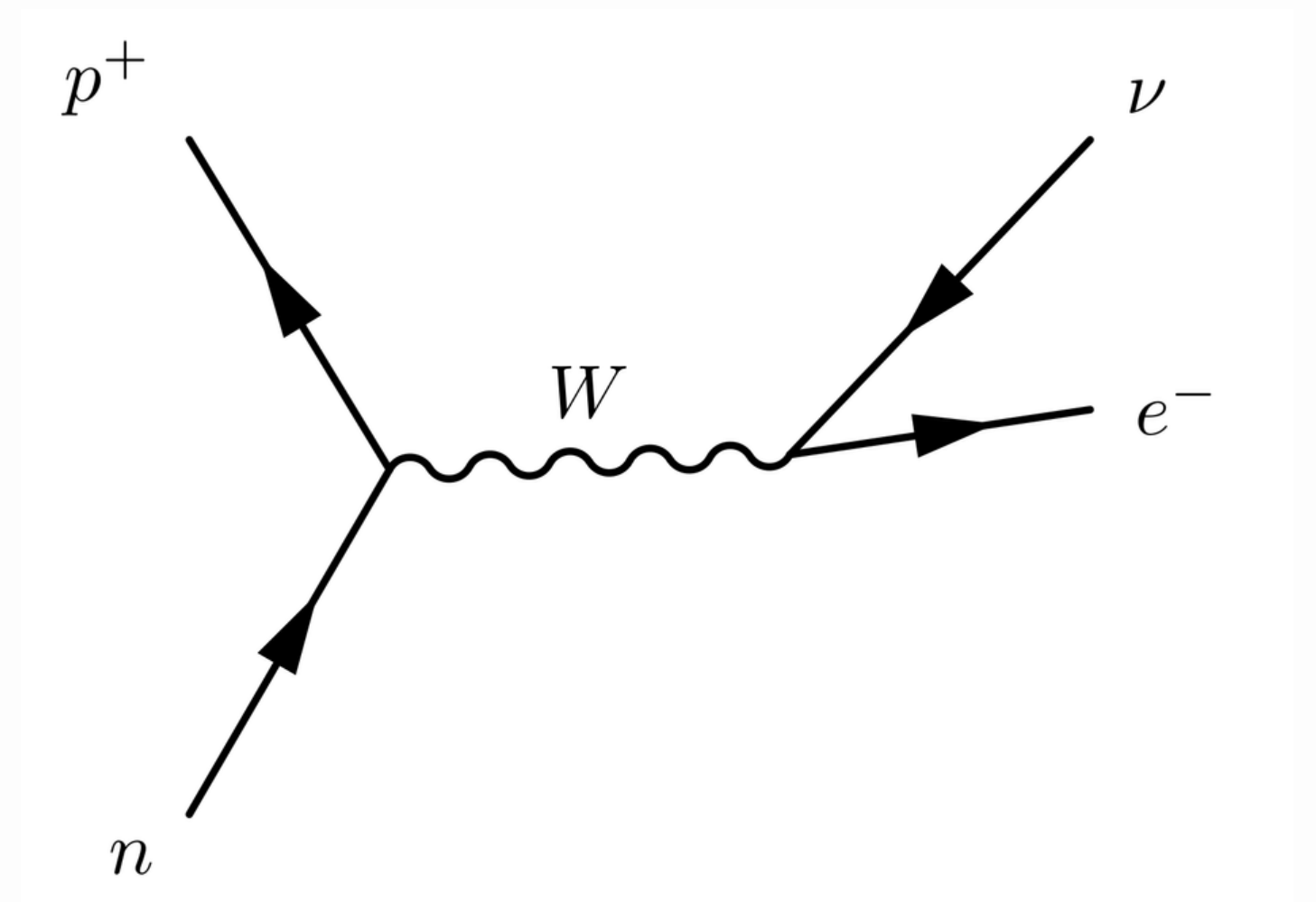
$$\begin{pmatrix} p^+ \\ n^0 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \nu \\ e^- \end{pmatrix}$$

Tarkime, kad negalime atskirti viršutinio nuo apatinio - turime simetriją\*

\*"Griežtai" simetrija turėjo būti ankstyvojoje visatoje

Šią sąveiką perneša:

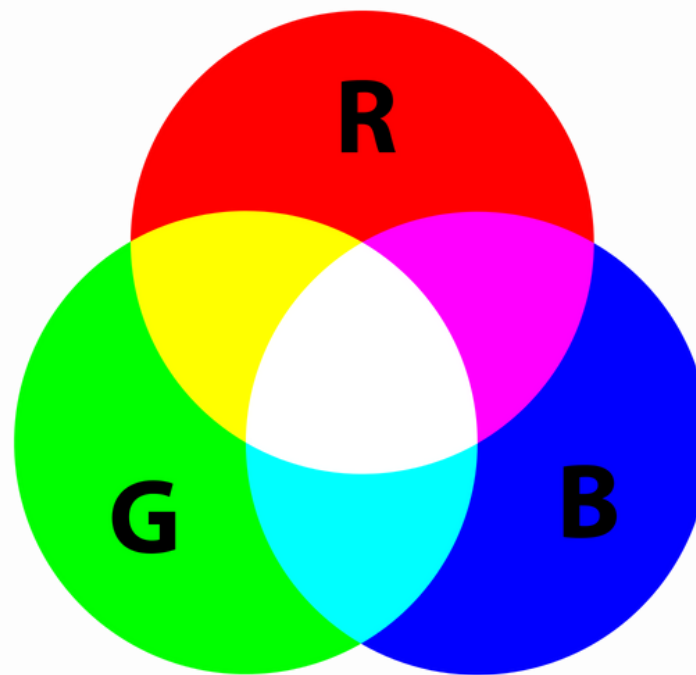
- $W^+$  sukeičia viršų su apačia
- $W^-$  sukeičia į kitą pusę
- $Z^0$  palieka toj pačioj vietoj



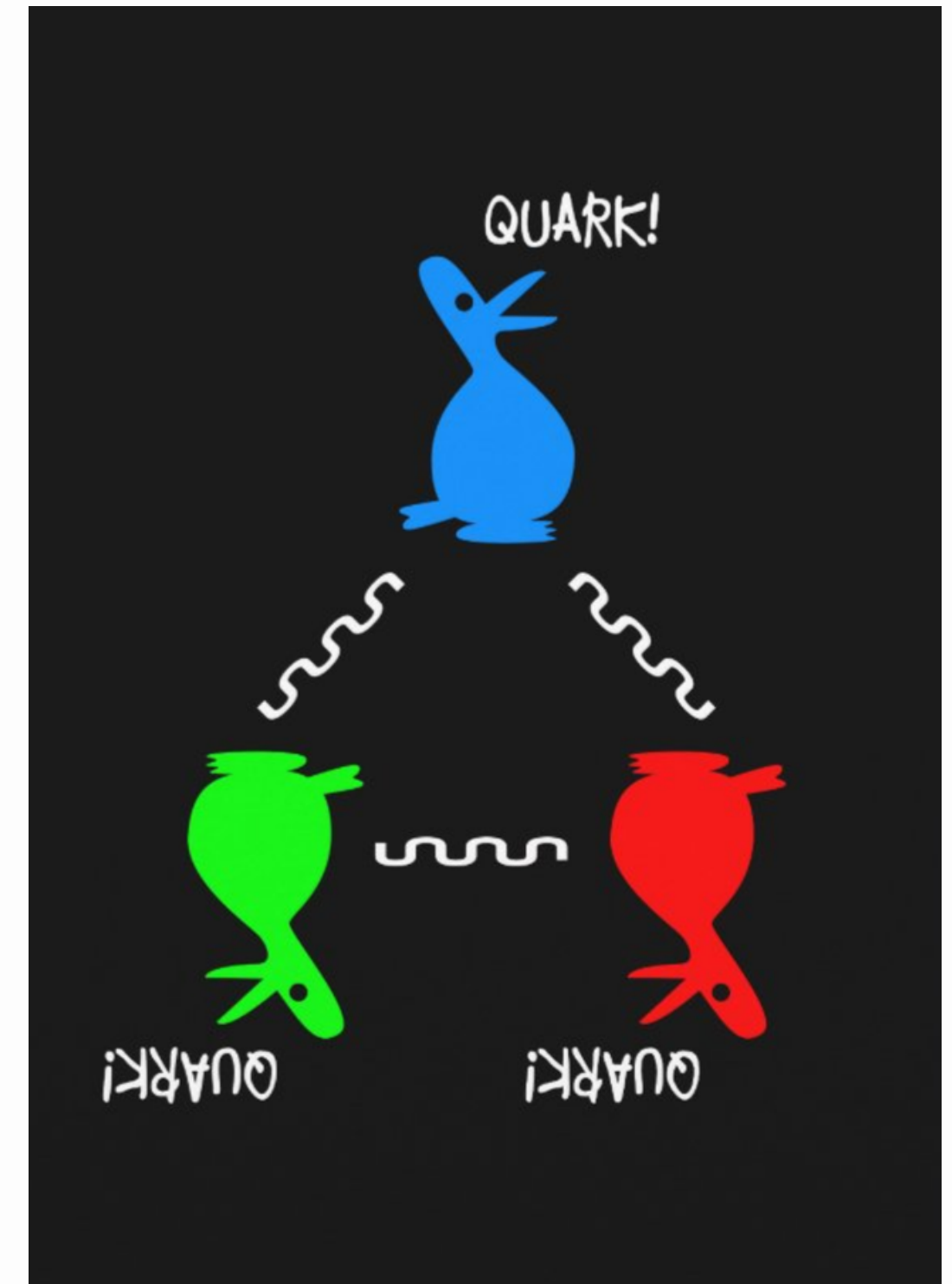
# Stiprioji sąveika

Kodėl protonai ir neutronai sulipę branduolyje?

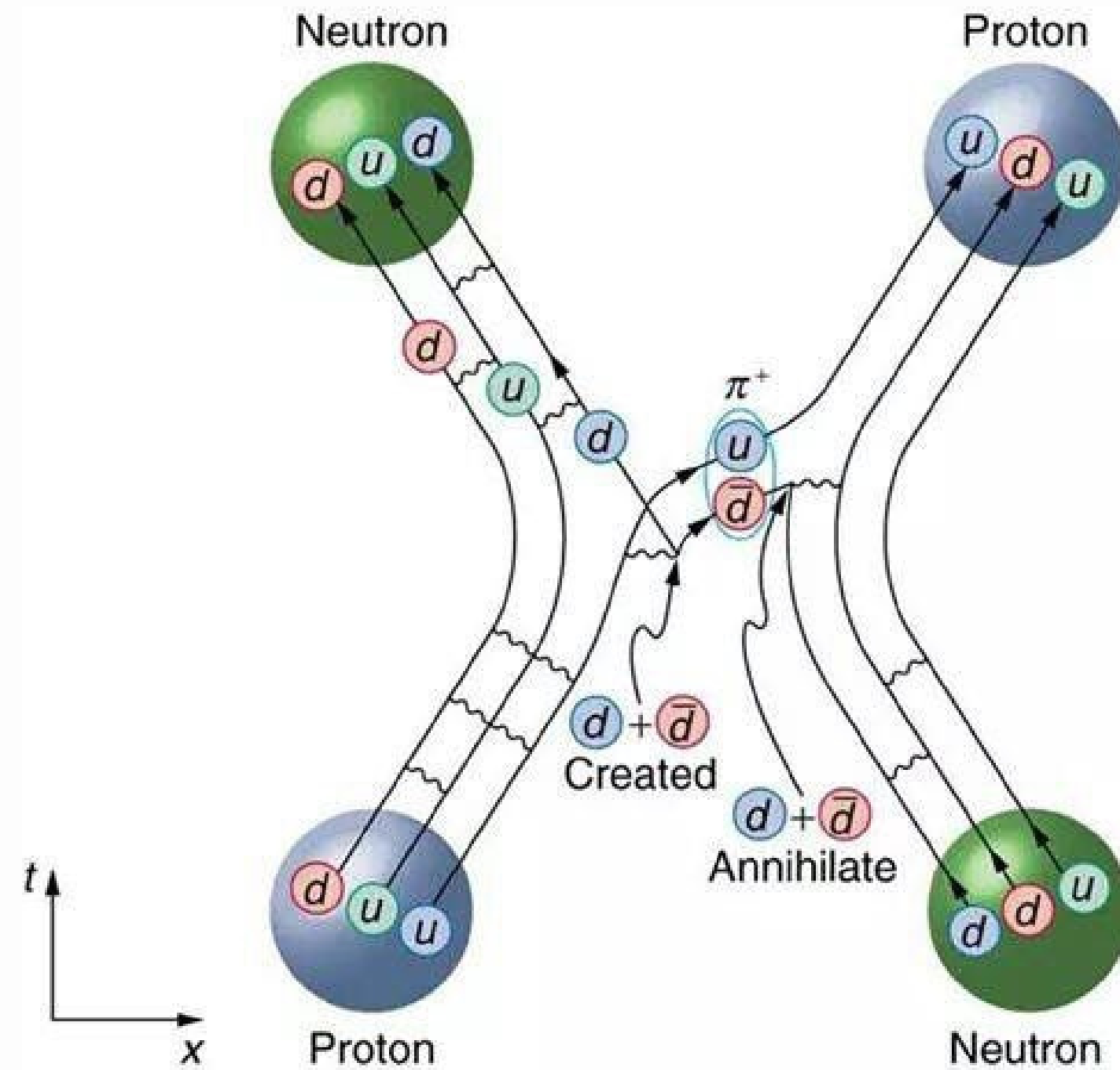
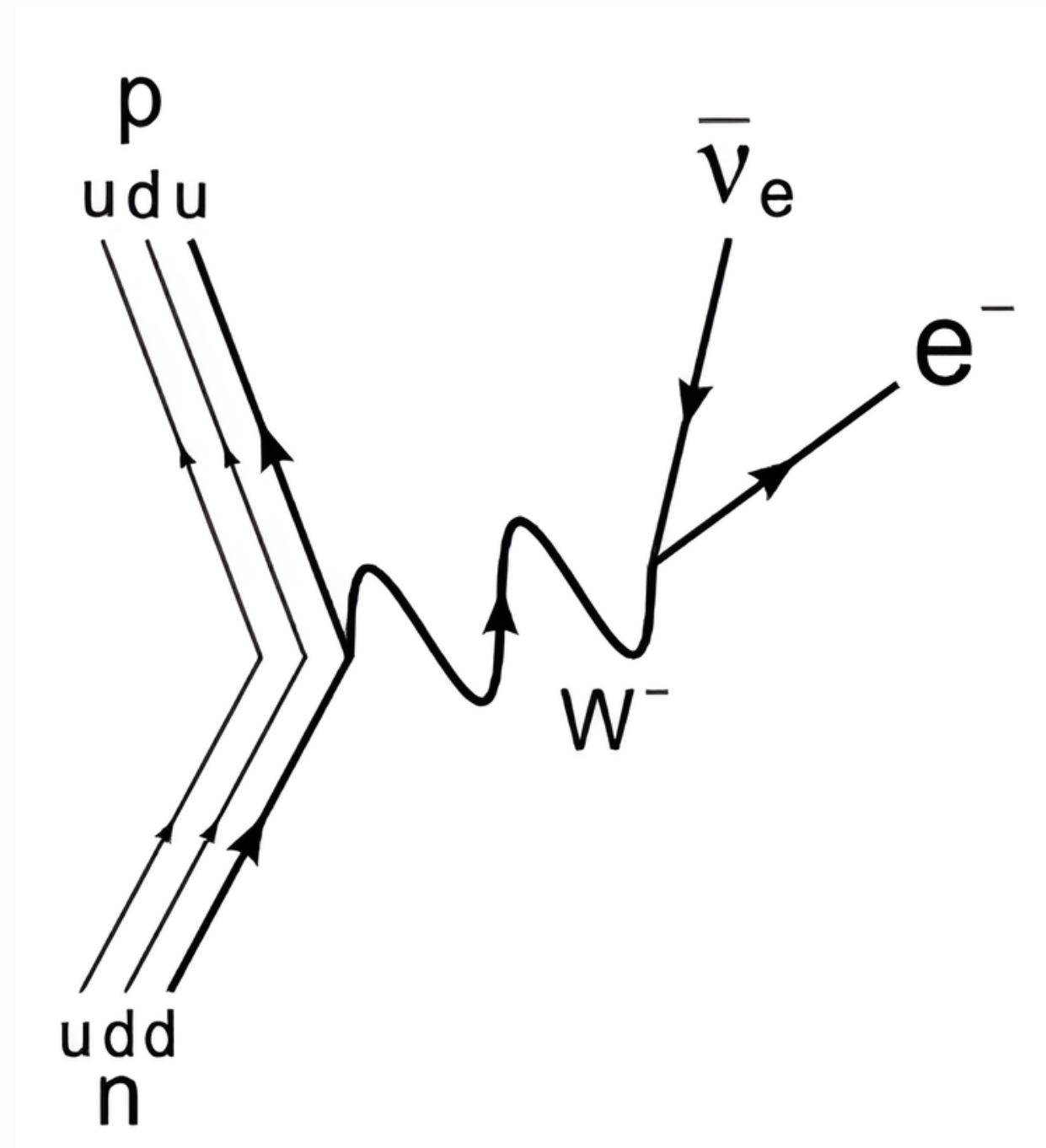
1. Protonas ir neutronas susideda iš kvarkų.
2. Kvarkai gali būti trijų “spalvų”.
3. Stiprioji sąveika tokia stipri, kad matome tik “baltas” daleles.
4. Spalvą / antispalvą perneša gliuonai.
5. Kvarkai yra “viršutiniai” arba “apatiniai” pagal silpnąją sąveiką.
6. Kvarkų elektriniai krūviai:
  - “viršutiniai”  $q=+2/3$
  - “apatiniai”  $q=-1/3$



Kvarkų modelis neutronui  
arba protonui



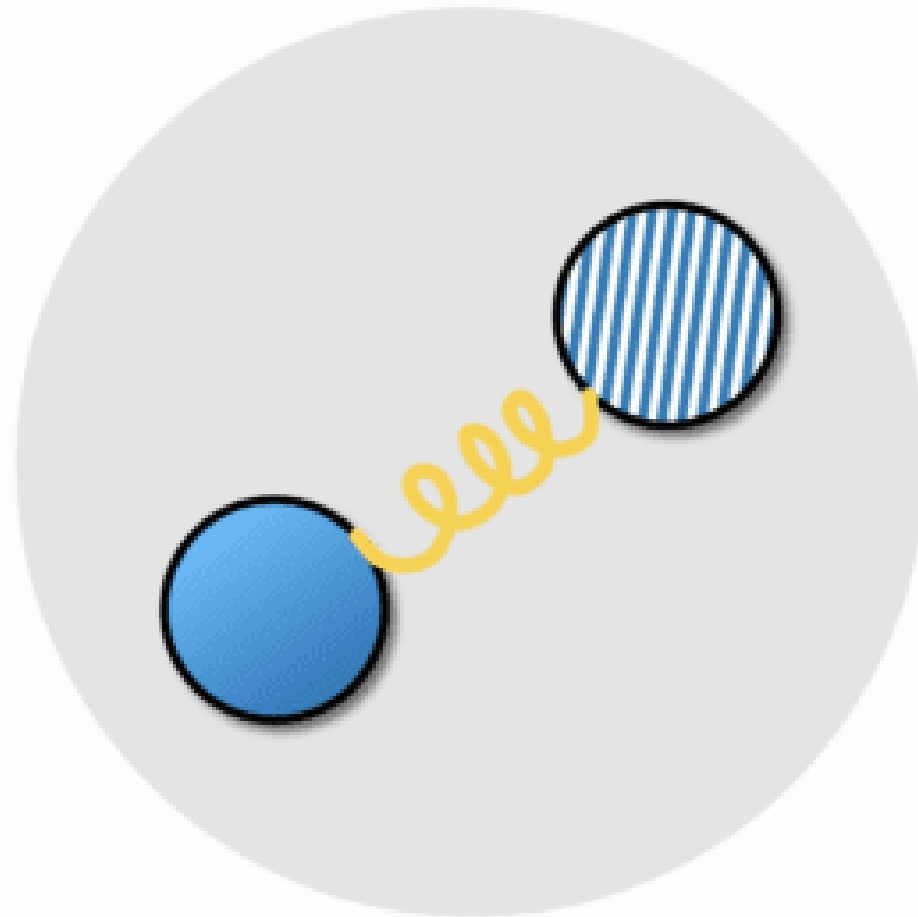
# Silpnoji ir stiprioji sąveikos kvarkų modelyje



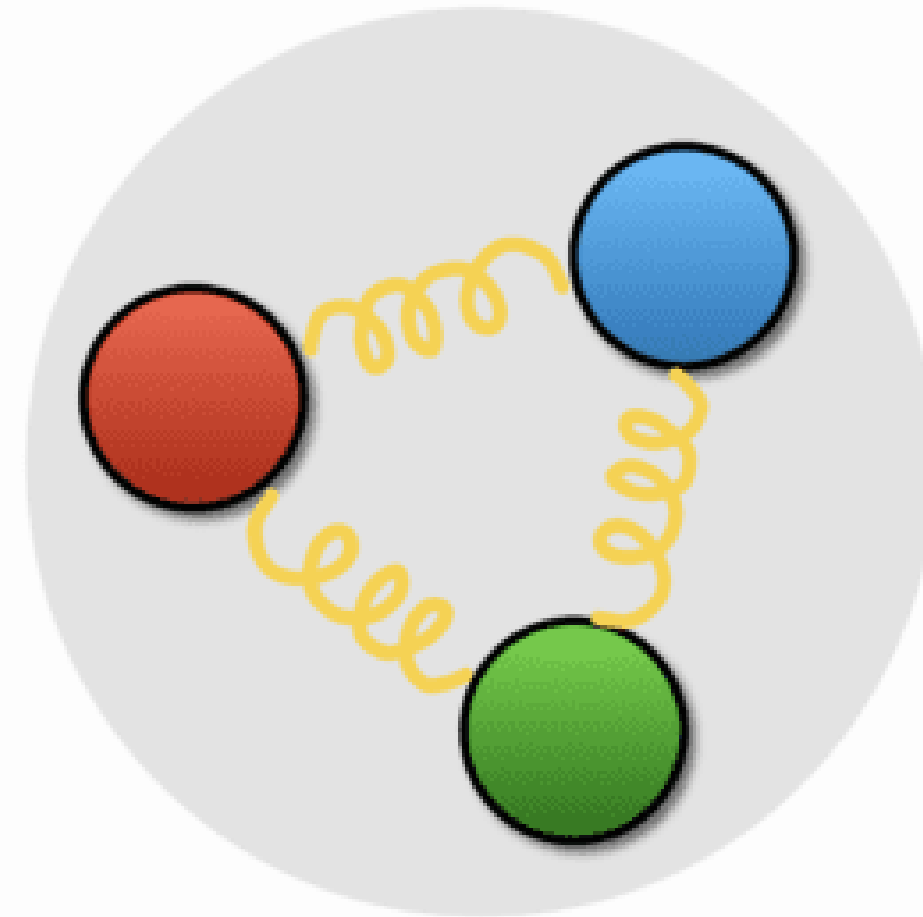
# Hadronai

(dalelės sudarytos iš kvarkų)

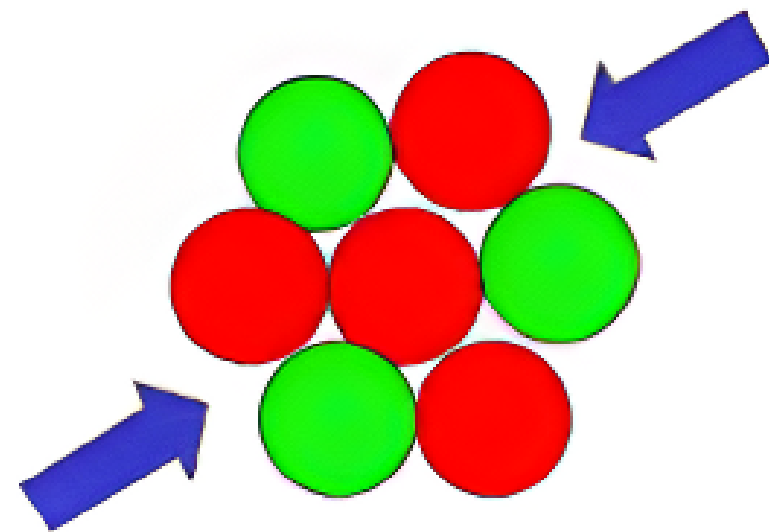
Mezonas



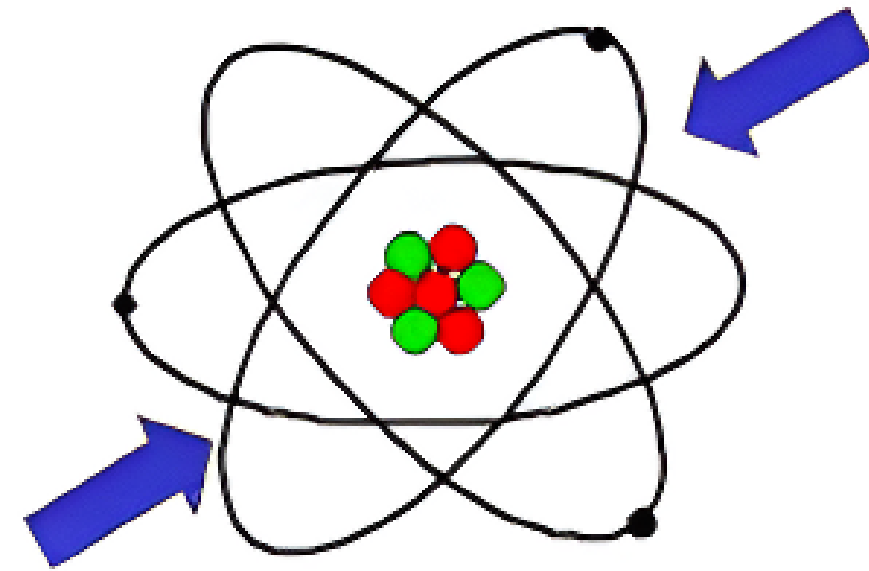
Barionas



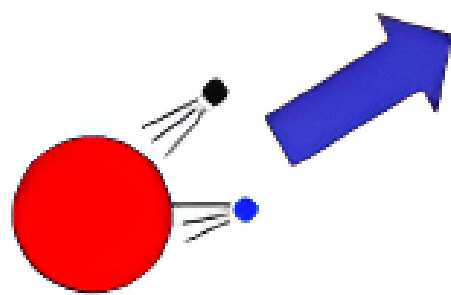
# 4 gamtos jėgos



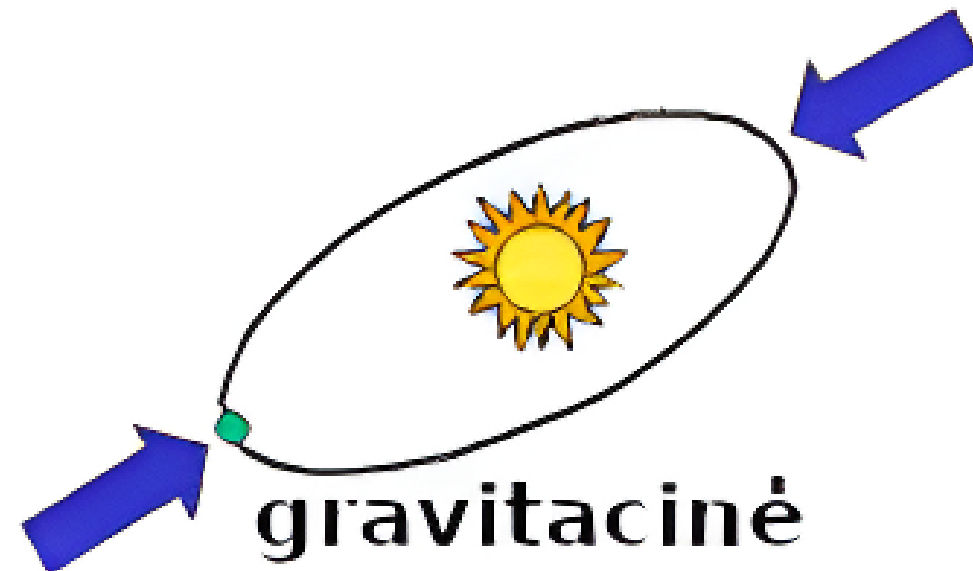
stiprioji



elektromagnetinė

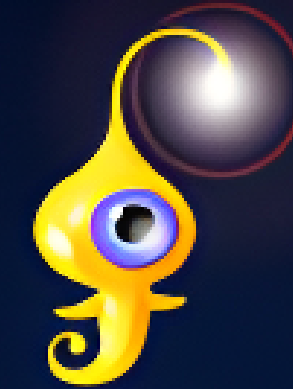


silpnoji



gravitacinė

## Bosons



Photon



Gluon



Z<sup>0</sup>



W<sup>-</sup>



W<sup>+</sup>

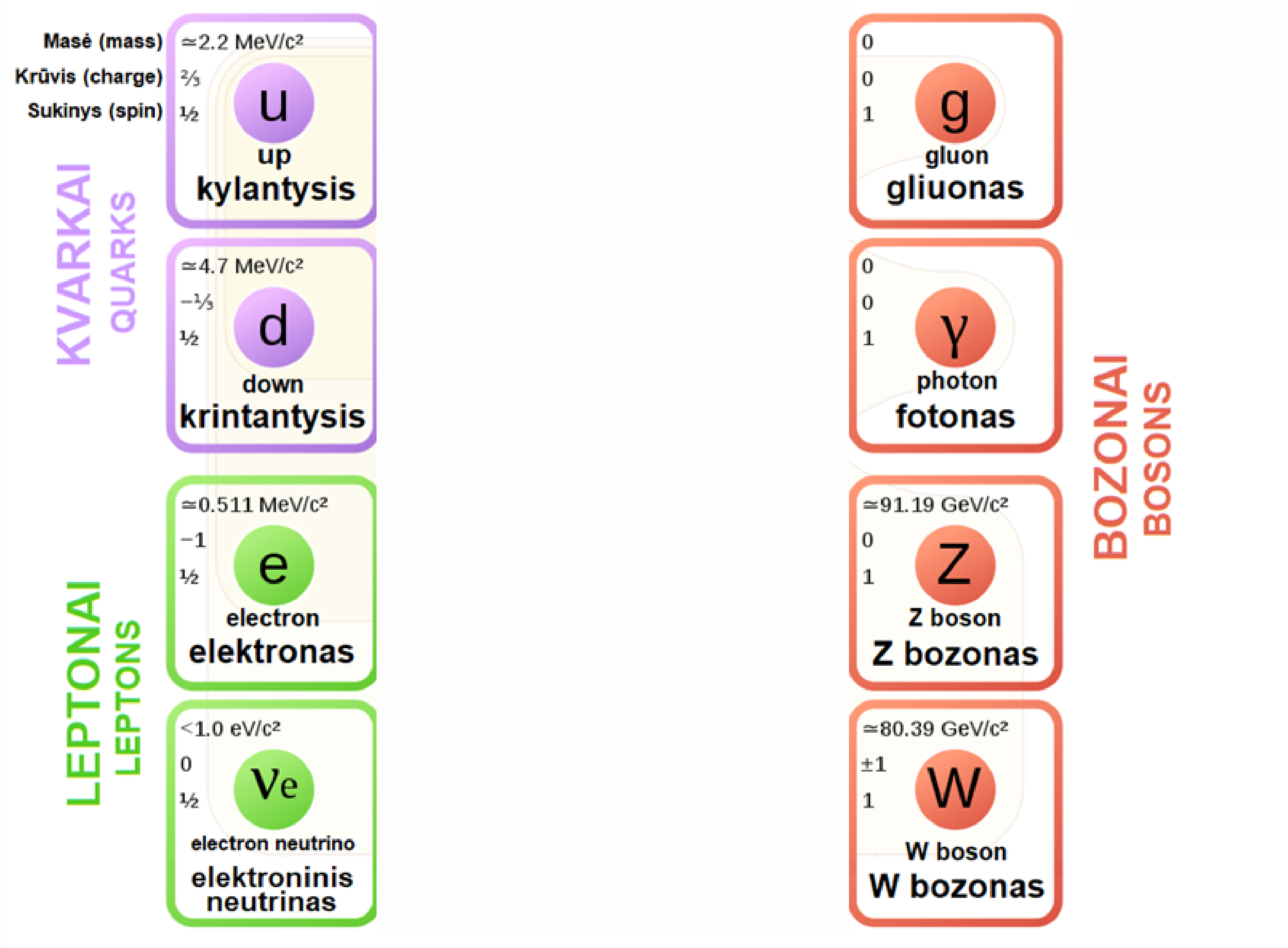


Higgs



Graviton

# Ką mes sužinojome



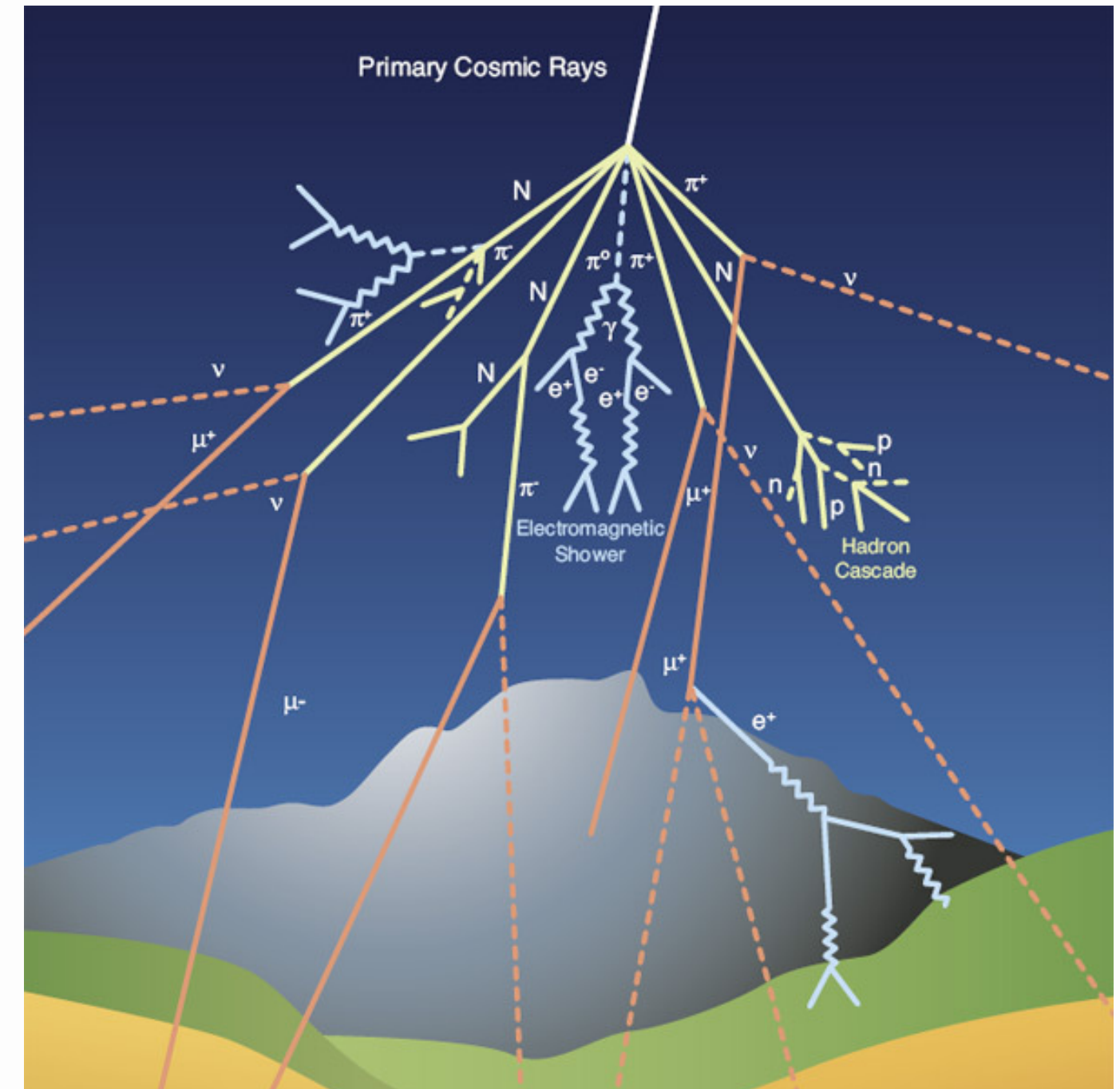


# Kas užsisakė miuoną?

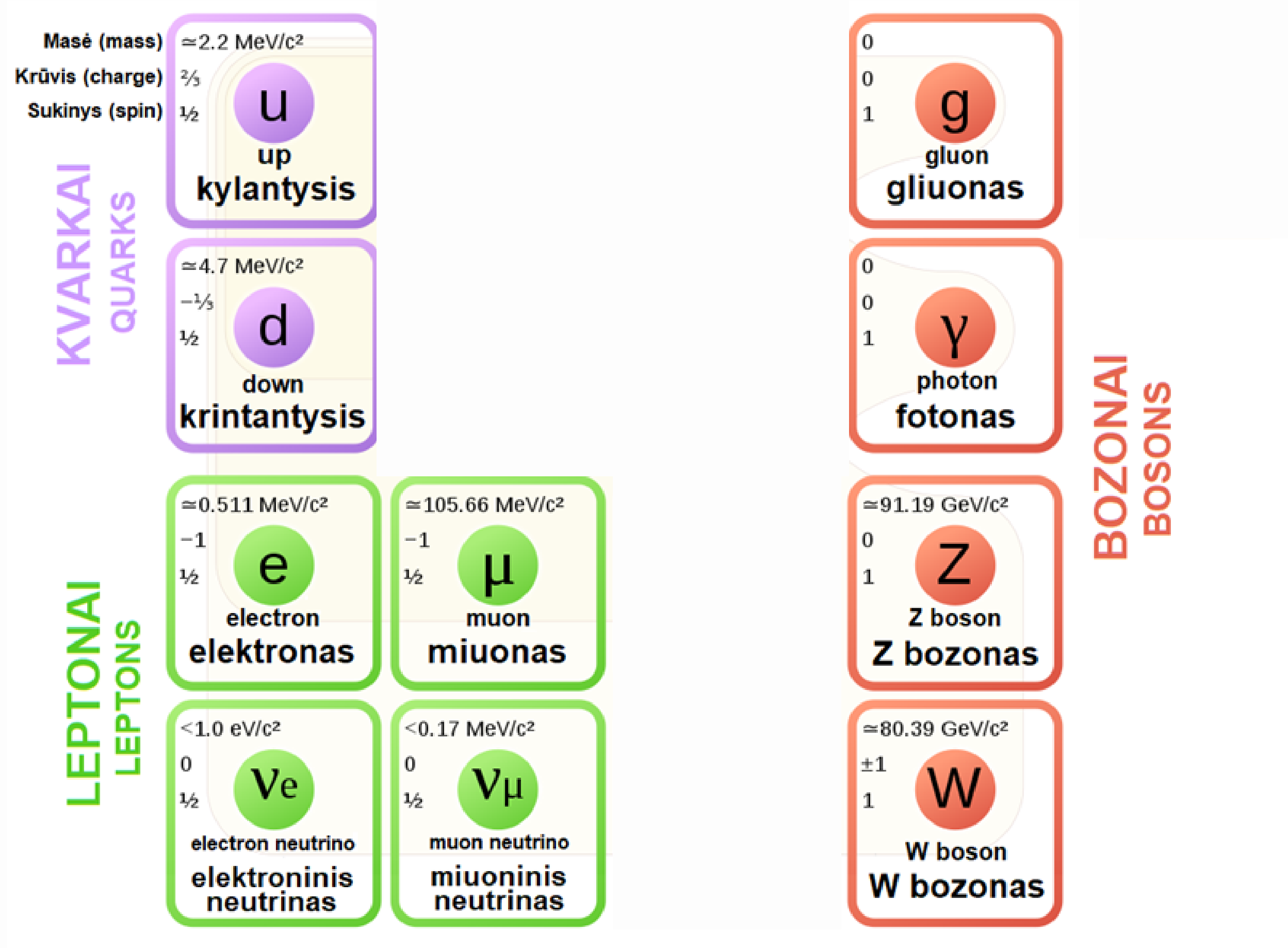
1936 kosminėje spinduliuotėje aptikta dalelė, turinti savybes kaip elektronas, bet..

**200 kartų didesnės masės!**

I. I. Rabi (Nobelio premijos laureatas) išgirdęs apie atradimą:



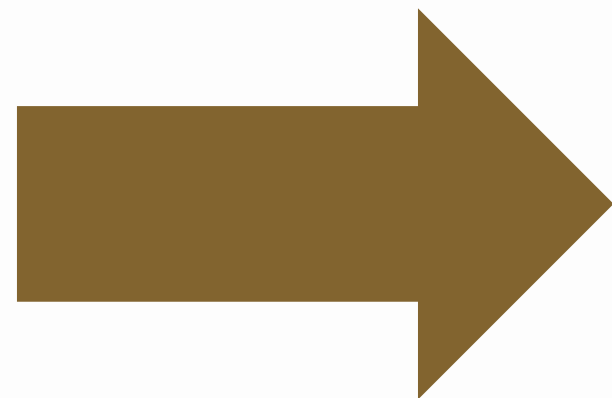
# Ką mes sužinojome ( pridėkime miuoną )



# Kaip galime toliau tyrinėti?

Turime:

- Sąveikas
- $E=mc^2$



Didelės energijos gali sukurti masyvias daleles sąveikų pagalba.

Planas Nr. 1

Gaudyti didelės energijos daleles iš kosmoso.

Planas Nr. 2

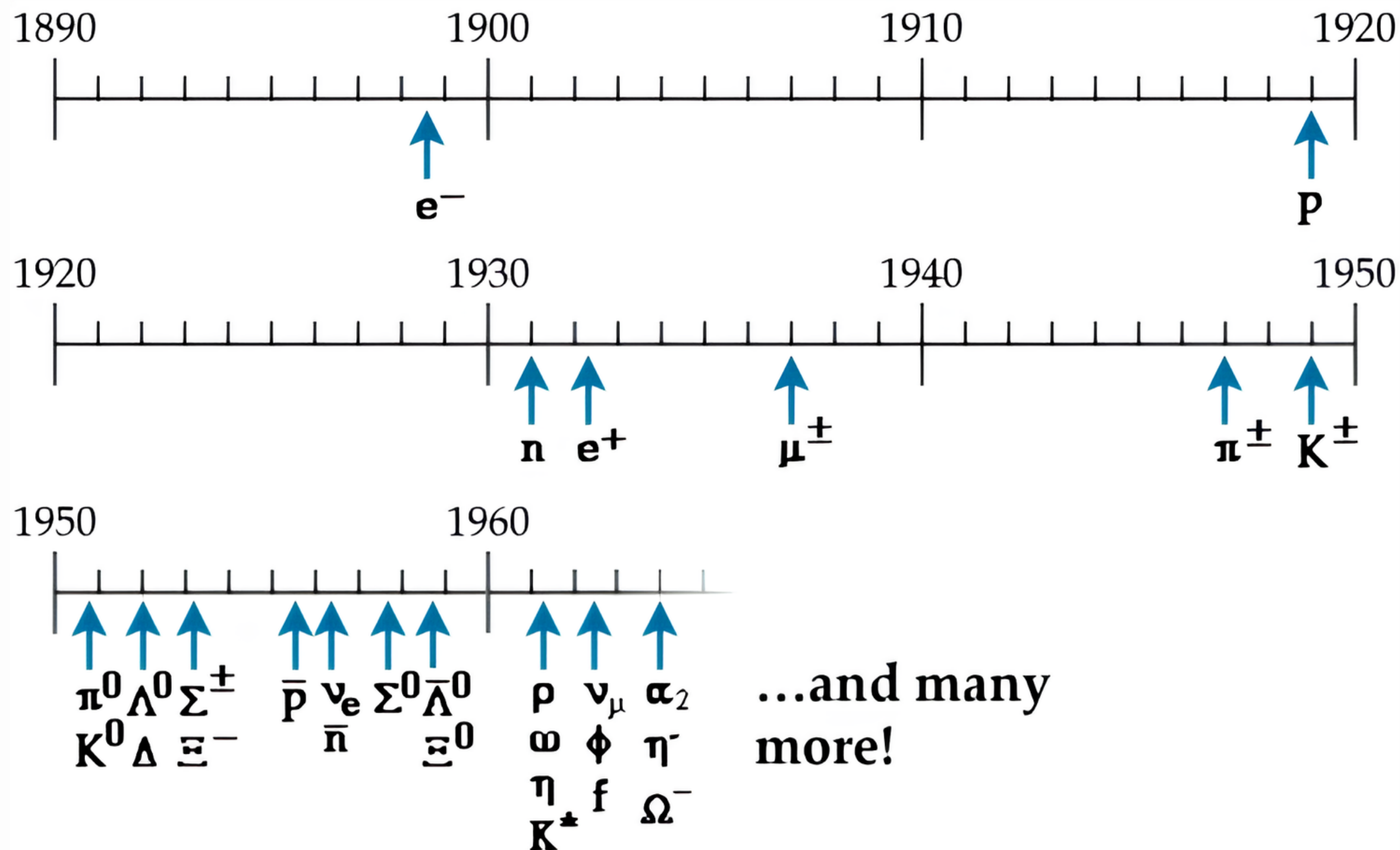
Trenkti daleles vieną į kitą ir pažiūrėti, kas išlėks.



# Rezultatas

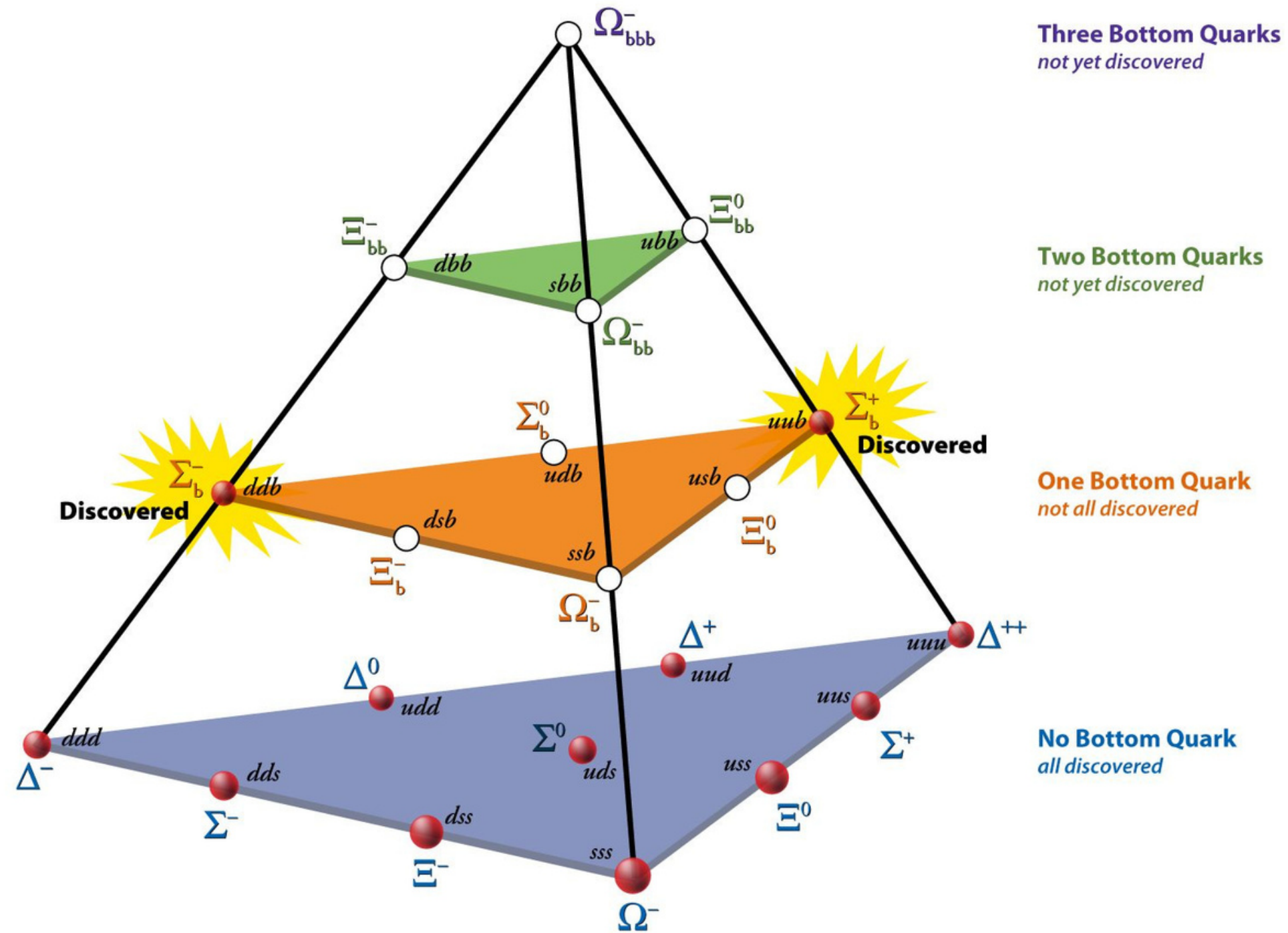
*“Girdēju sakant, kad naujos elementariosios dalelės atradėjas būdavo apdovanotas Nobelio premija, bet dabar toks atradimas turėtų užtraukti 10000 USD baudą.”*

(Willis Lamb, 1955 m. Nobelio paskaitos atidarymas)



# Sutvarkome hadronų betvarkę su kvarkais

**Baryons with Up, Down, Strange and Bottom Quarks and Highest Spin ( $J = 3/2$ )**



# Ką mes sužinojome

	Masė (mass)	Krūvis (charge)	Sukinys (spin)														
KVARKAI QUARKS	$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{2}$	<b>u</b> up kylantysis	$\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{2}$	<b>c</b> charm žavusis	$\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{2}$	<b>t</b> top viršūninis	0	0	1	<b>g</b> gluon gliuonas	
	$\approx 4.7 \text{ MeV}/c^2$	$-\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	<b>d</b> down krintantysis	$\approx 96 \text{ MeV}/c^2$	$-\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	<b>s</b> strange keistasis	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$	$-\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	<b>b</b> bottom gelminis	0	0	1	<b>γ</b> photon fotonas	
	$\approx 0.511 \text{ MeV}/c^2$	-1	$\frac{1}{2}$	<b>e</b> electron elektronas	$\approx 105.66 \text{ MeV}/c^2$	-1	$\frac{1}{2}$	<b>μ</b> muon miuonas	$\approx 1.7768 \text{ GeV}/c^2$	-1	$\frac{1}{2}$	<b>τ</b> tau taonas	$\approx 91.19 \text{ GeV}/c^2$	0	1	<b>Z</b> Z boson Z bozonas	
	$< 1.0 \text{ eV}/c^2$	0	$\frac{1}{2}$	<b>ν<sub>e</sub></b> electron neutrino elektroninis neutrinas	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$	0	$\frac{1}{2}$	<b>ν<sub>μ</sub></b> muon neutrino miuoninis neutrinas	$< 18.2 \text{ MeV}/c^2$	0	$\frac{1}{2}$	<b>ν<sub>τ</sub></b> tau neutrino tau neutrinas	$\approx 80.39 \text{ GeV}/c^2$	$\pm 1$	1	<b>W</b> W boson W bozonas	
LEPTONAI LEPTONS																	BOZONAI BOSONS

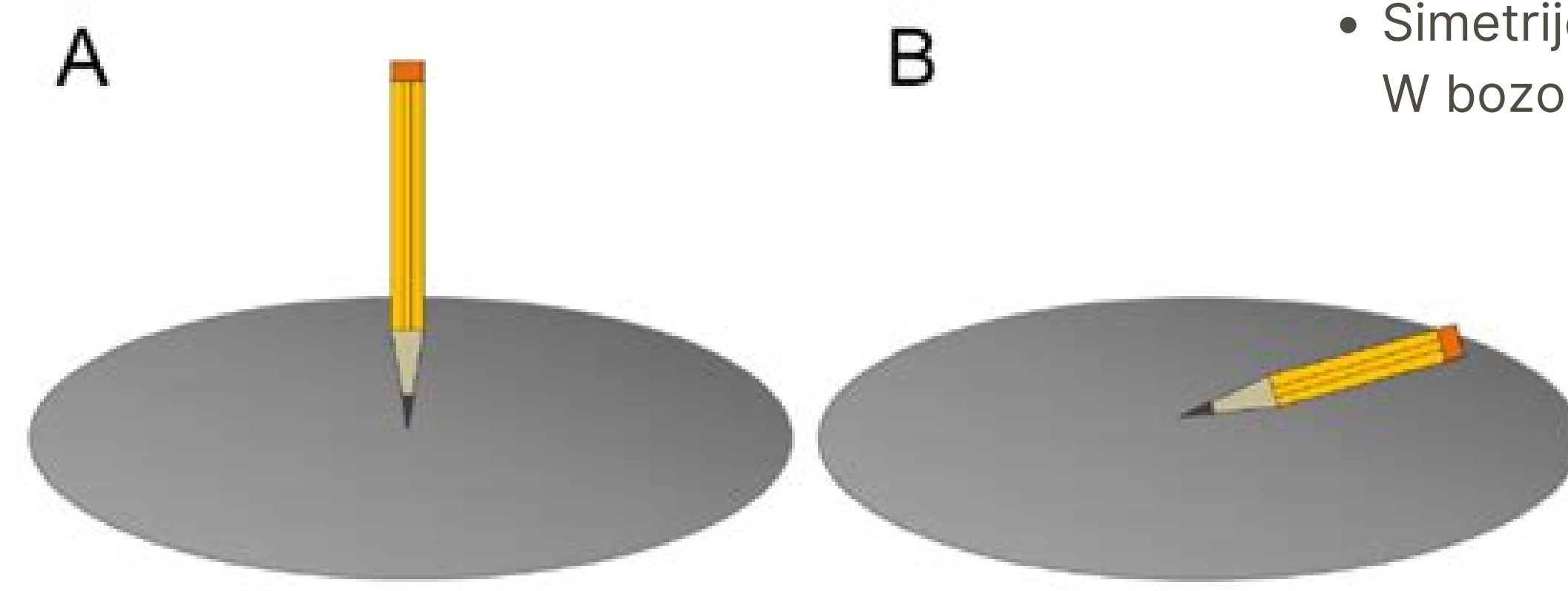
# Kas suteikia dalelėms mases?

Silpnoji simetrija yra *sulūžusi* dėl masės:

- Protono masė nelygi neutrono masei.
- Elektrono masė nelygi neutrino...

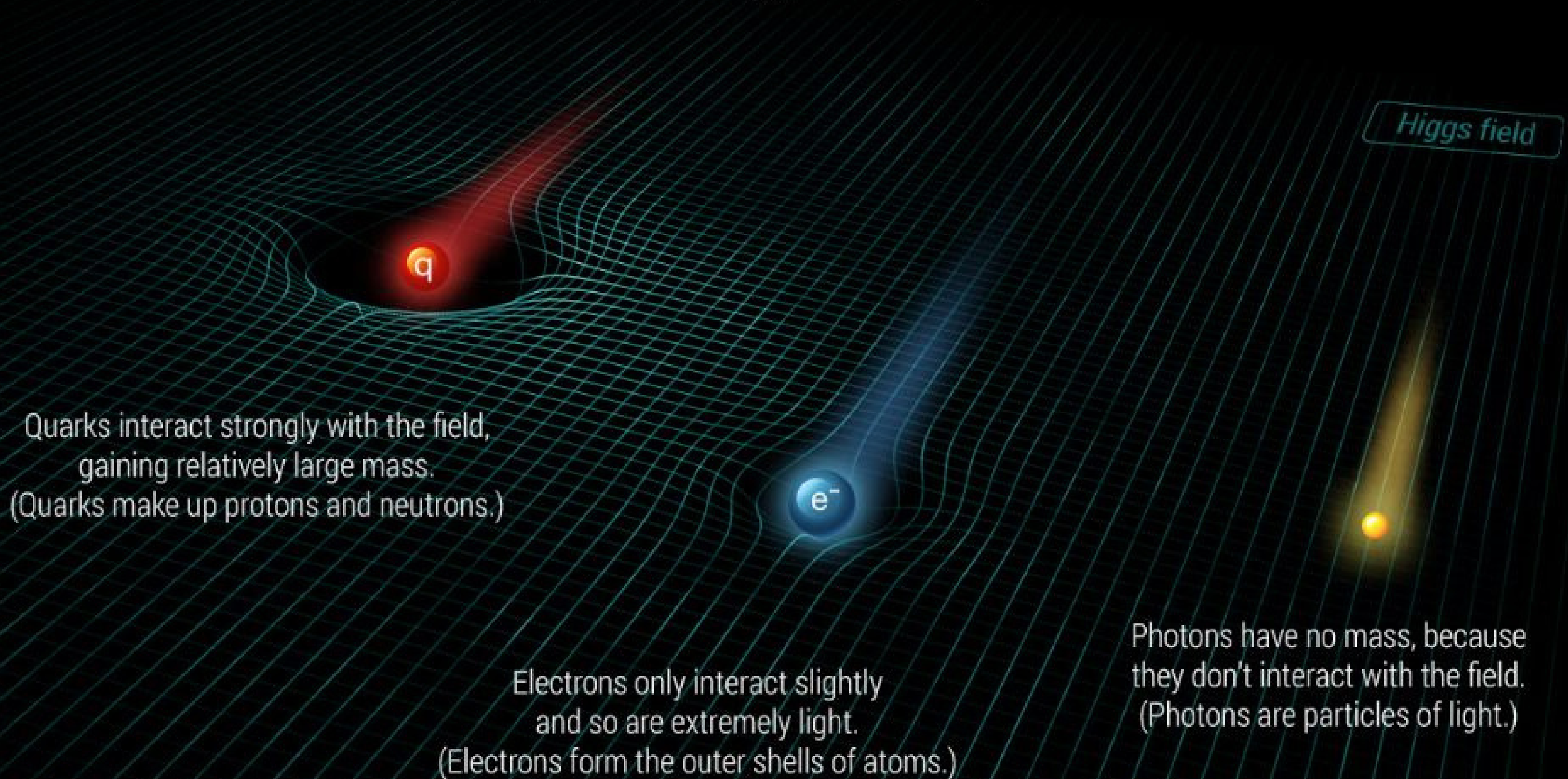
## Spontaniškasis simetrijos pažeidimas

- Visatai šąlant vakuumas “nukrenta” į nesimetrinę būseną (iš A į B).
- Sąveikos su vakuomo lauku (Higgsu) suteikia dalelėms masę.
- Simetrijos nebesimato, bet lieka sąveikos (Z ir W bozonai).



# The Higgs Field

Existing everywhere, the Higgs field gives particles their mass.



Quarks interact strongly with the field,  
gaining relatively large mass.  
(Quarks make up protons and neutrons.)

Electrons only interact slightly  
and so are extremely light.  
(Electrons form the outer shells of atoms.)

Photons have no mass, because  
they don't interact with the field.  
(Photons are particles of light.)



# Standartinis modelis

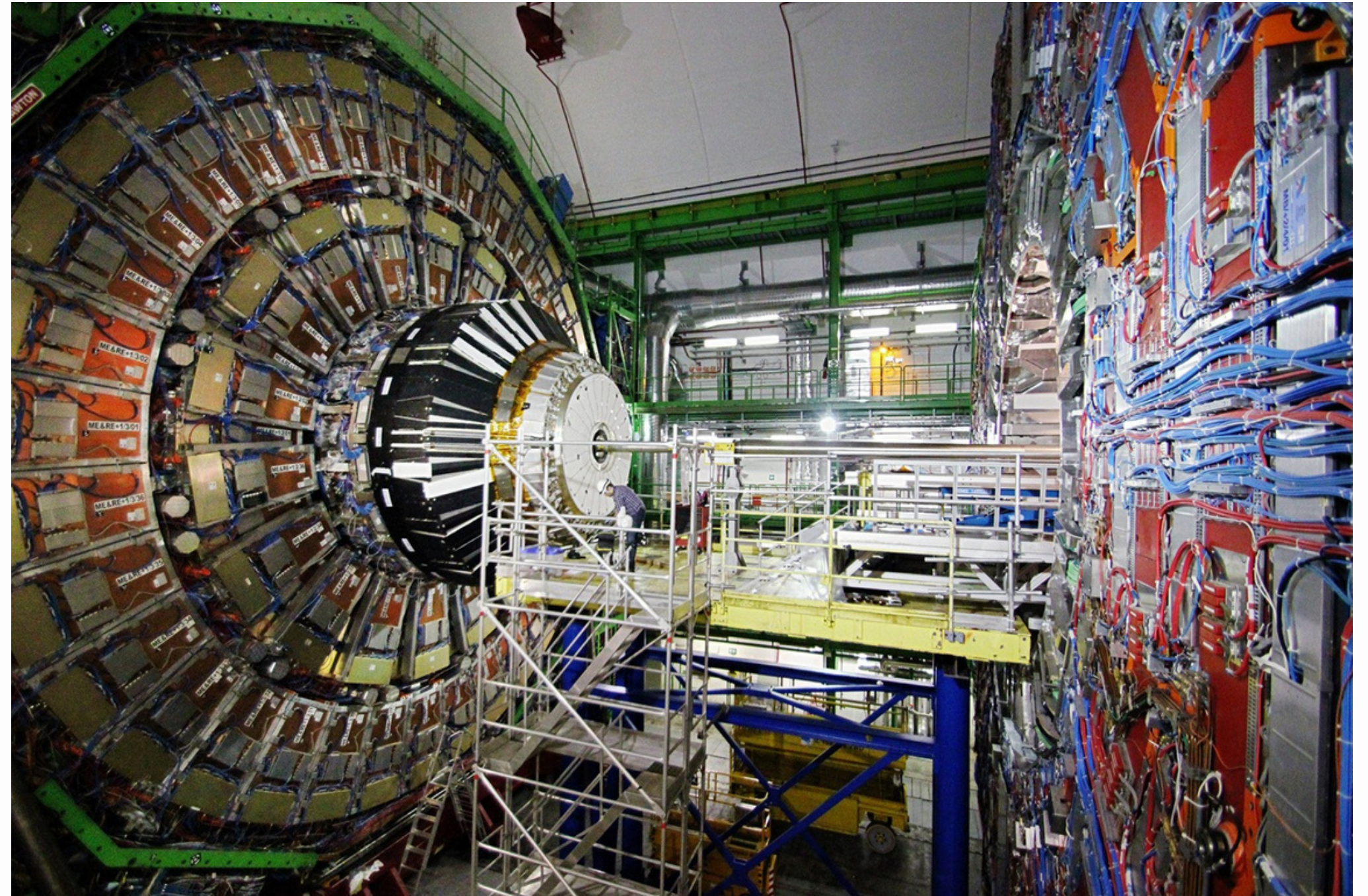
Masė (mass)	$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 124.97 \text{ GeV}/c^2$
Krūvis (charge)	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0	0
Sukinys (spin)	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	0
<b>KVARKAI</b> QUARKS	<b>u</b> up kylantysis	<b>c</b> charm žavusis	<b>t</b> top viršūninis	<b>g</b> gluon gliuonas	<b>H</b> Higgs boson Higso bozonas
	$\approx 4.7 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 96 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$	0	
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
	<b>d</b> down krintantysis	<b>s</b> strange keistasis	<b>b</b> bottom gelminis	<b><math>\gamma</math></b> photon fotonas	
	$\approx 0.511 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 105.66 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.7768 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 91.19 \text{ GeV}/c^2$	
	-1	-1	-1	0	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
<b>LEPTONAI</b> LEPTONS	<b>e</b> electron elektronas	<b><math>\mu</math></b> muon miuonas	<b><math>\tau</math></b> tau taonas	<b>Z</b> Z boson Z bozonas	
	$< 1.0 \text{ eV}/c^2$	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$	$< 18.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 80.39 \text{ GeV}/c^2$	
	0	0	0	$\pm 1$	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
	<b><math>\nu_e</math></b> electron neutrino elektroninis neutrinas	<b><math>\nu_\mu</math></b> muon neutrino miuoninis neutrinas	<b><math>\nu_\tau</math></b> tau neutrino tau neutrinas	<b>W</b> W boson W bozonas	
					<b>BOZONAI</b> BOSONS

# SM eksperimentinis patikrinimas

27 km. tunelyje įgreitiname protonus iki (beveik) šviesos greičio ir trankome (maždaug) milijardą kartų per sekundę.

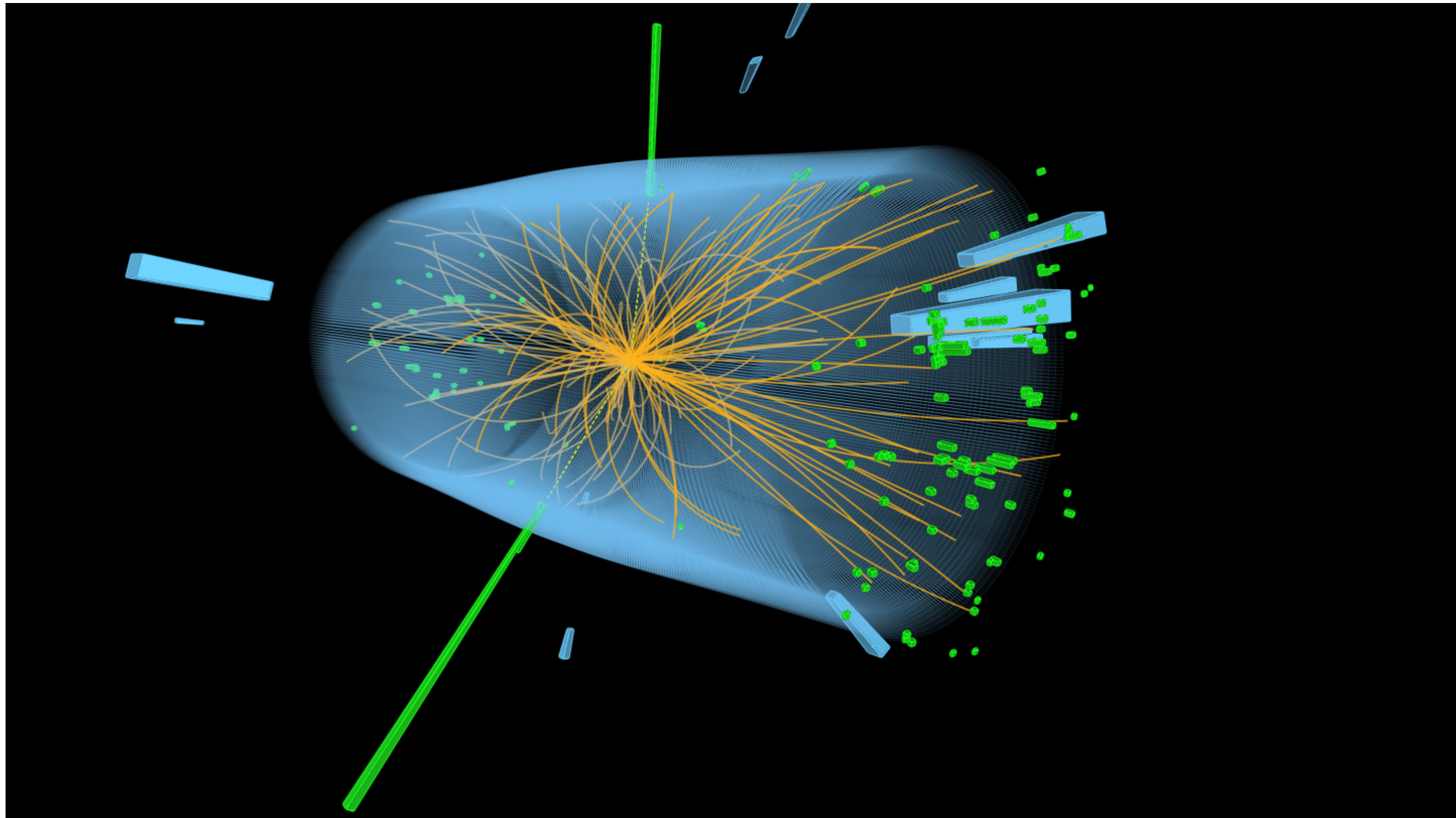


# SM eksperimentinio patikrinimo įranga

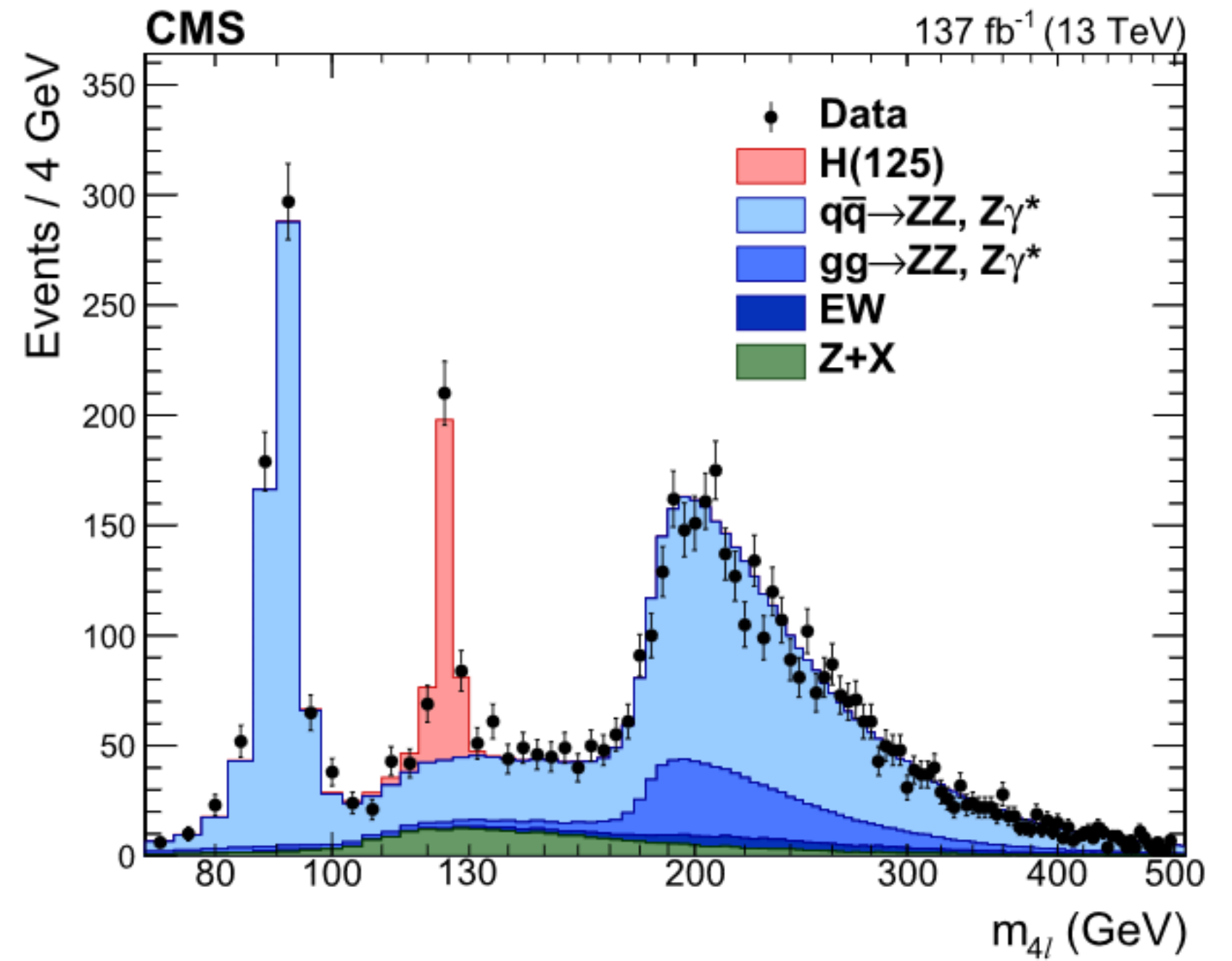
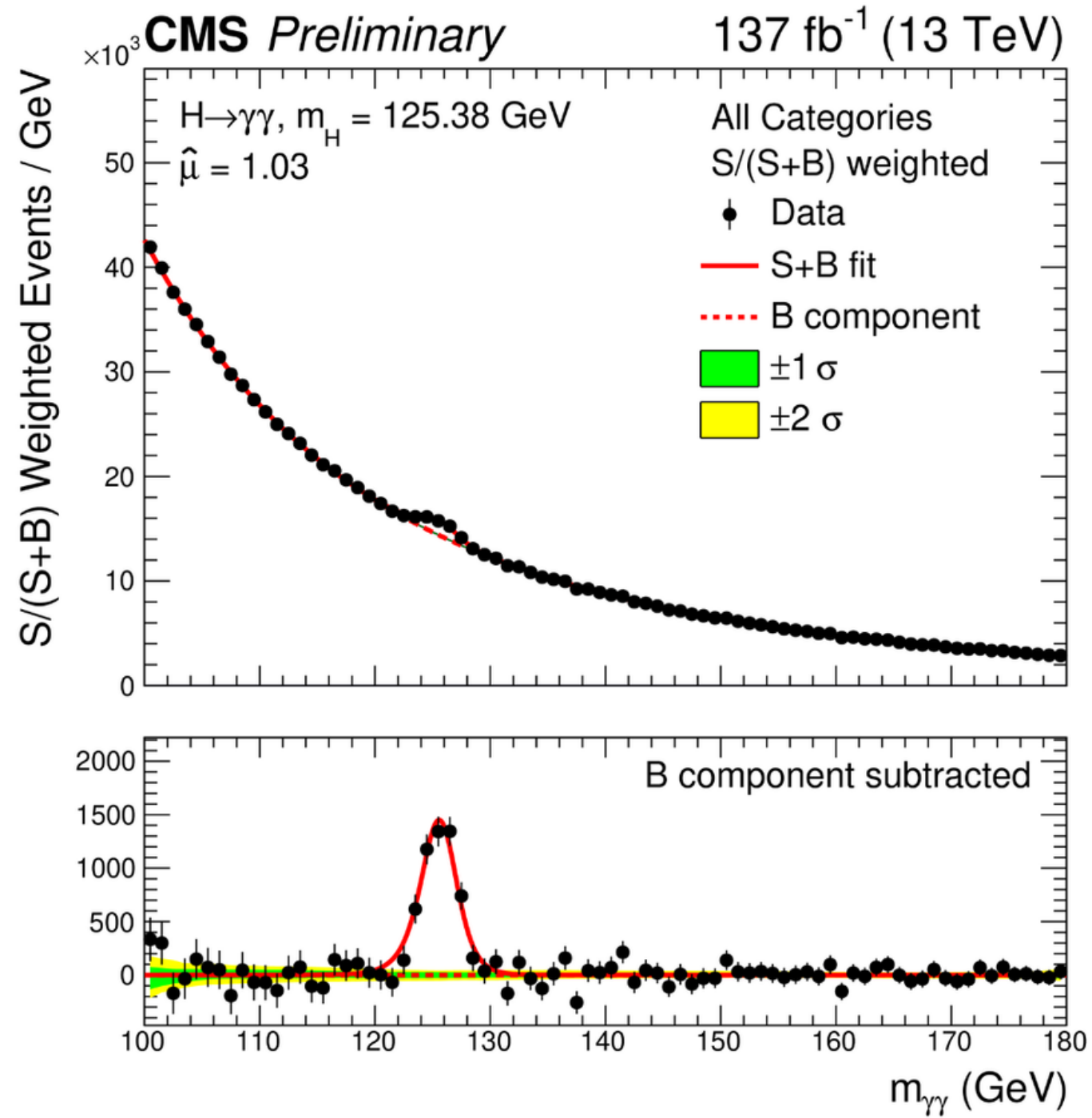


Kompaktiškasis miuonų solenoidas (CMS)

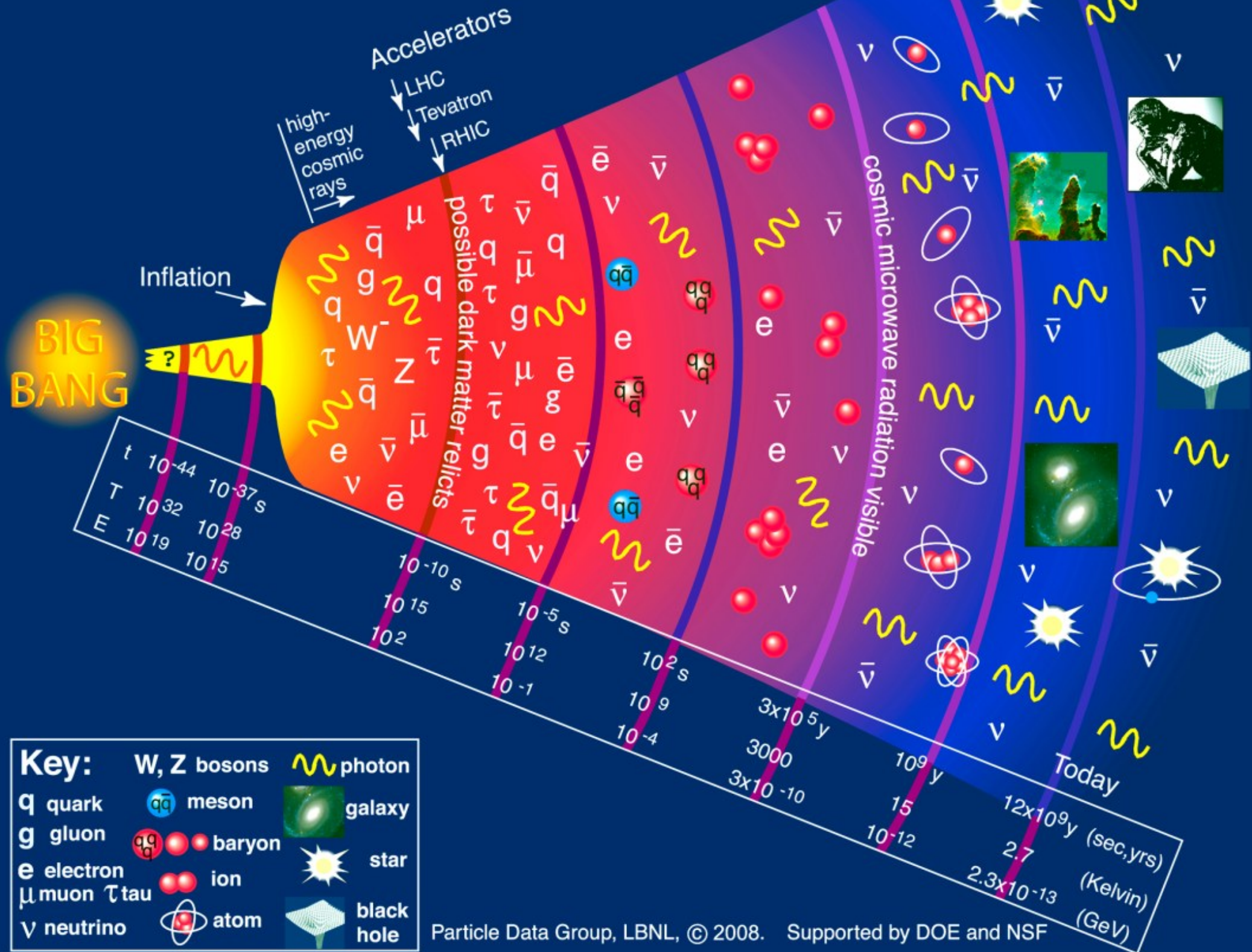
# Susidūrimas CMS



# Higgso atradimas



# History of the Universe



Particle Data Group, LBNL, © 2008. Supported by DOE and NSF

# Mes beveik nieko nežinome

- Visata prikimšta nematomos masės (tamsiosios materijos).
- Visata plečiasi su kažkokia papildoma energija (tamsiaja energija).
- Kur dingę antidalelės?
- Kaip neutrinai įgyja masę?
- ir t. t...

Tikimės, kad ateityje padėsite mums juos atsakyti.

Ačiū už dėmesį!

