



RĪGAS TEHNISKĀ
UNIVERSITĀTE

Augstas enerģijas daļiņu fizikas un
paātrinātāju tehnoloģiju centrs



“Elementāri” par daļiņu fiziku

Dr. Kārlis Dreimanis

09/04/2022

Atbalsta:





“Daļiņu fizika ir zinātnes virziens, kas pēta visfundamentālākos mūsu Visuma un realitātes aspektus.”

- Kā radies mūsu Visums?
- Kādi ir Visuma uzbūvi noteicošie fizikas likumi?
- Kāpēc Visums eksistē un kāds ir tā *derīguma termiņš*?



... mums jābūt pārliecinātiem, ka izprotam divus svarīgus fizikas likumus:

1. Gaismas ātrums, c , ir absolūts ātruma limits mūsu Visumā:

- $c = 2.998 \times 10^8$ m/s;
- masīvi objekti (t.sk. daļiņas) nevar sasniegt gaismas ātrumu;



... mums jābūt pārliecinātiem, ka izprotam divus svarīgus fizikas likumus:

1. Gaismas ātrums, c , ir absolūts ātruma limits mūsu Visumā:

- $c = 2.998 \times 10^8 \text{ m/s}$;
- masīvi objekti (t.sk. daļiņas) nevar sasniegt gaismas ātrumu;

2. Enerģija un masa ir ekvivalenti fizikas fenomeni:

- visiem pazīstamais (?) vienādojums $E = mc^2$;
- 60 kg masās izteikti tīrā enerģijā ir $5.4 \times 10^{18} \text{ J}$



... mums jābūt pārliecinātiem, ka izprotam divus svarīgus fizikas likumus:

1. Gaismas ātrums, c , ir absolūts ātruma limits mūsu Visumā:

- $c = 2.998 \times 10^8$ m/s;
- masīvi objekti (t.sk. daļiņas) nevar sasniegt gaismas ātrumu;

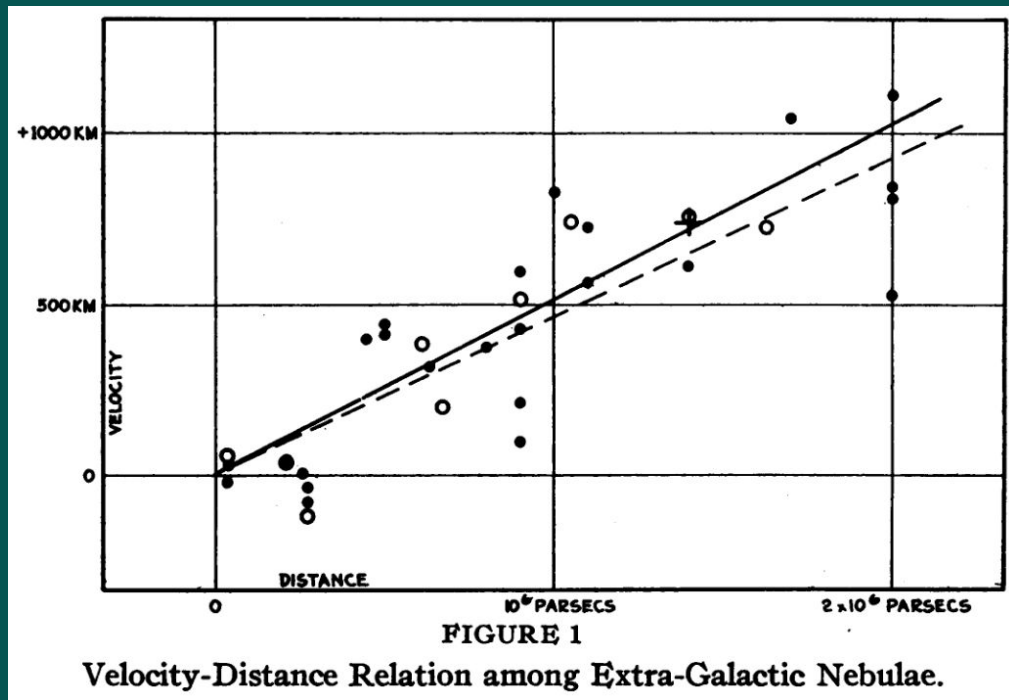
2. Enerģija un masa ir ekvivalenti fizikas fenomeni:

- visiem pazīstamais (?) vienādojums $E = mc^2$;
- 60 kg masās izteikti tīrā enerģijā ir 5.4×10^{18} J
(jeb 1 biliona tonnu dinamīta ekvivalents)



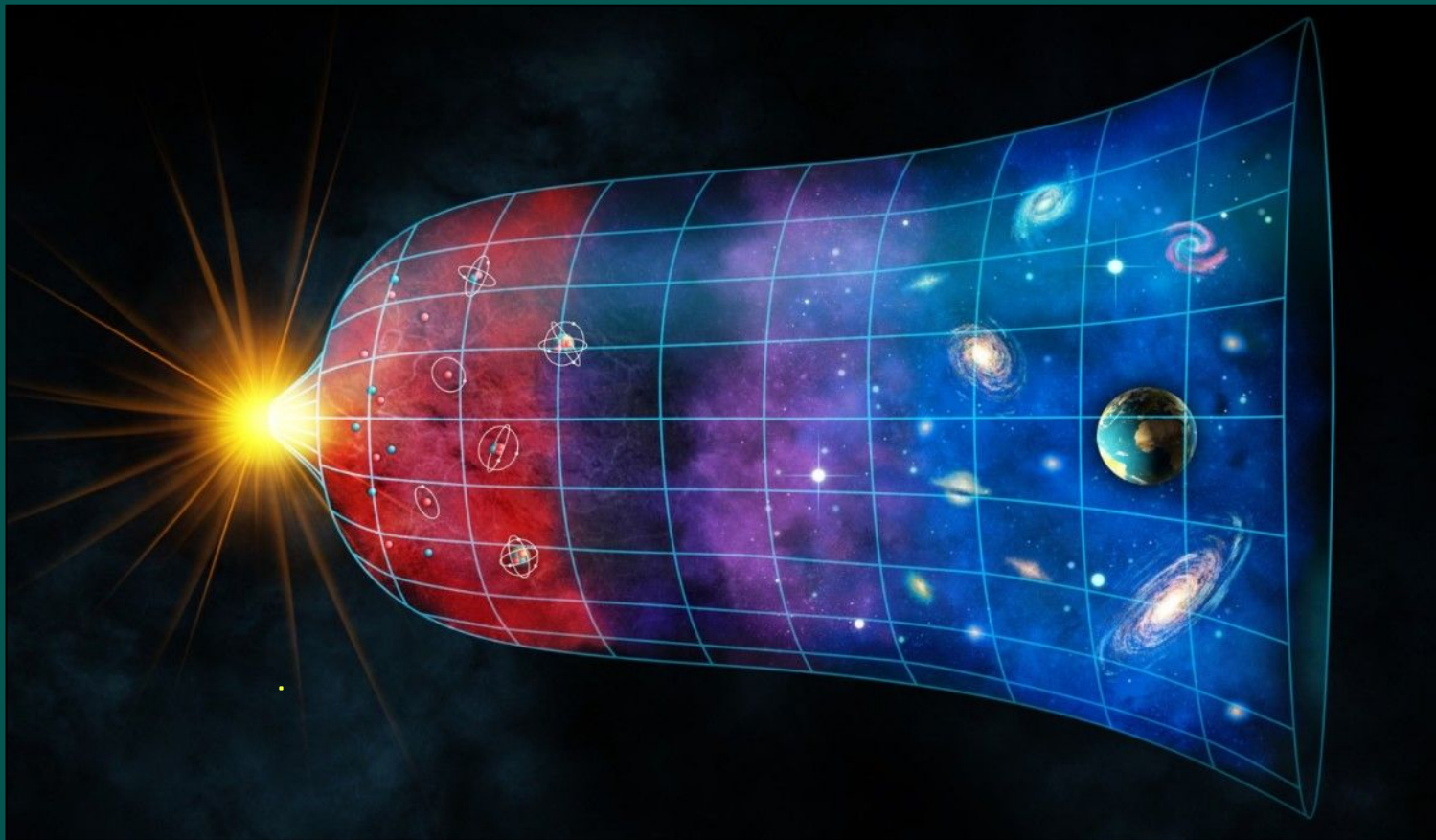
Kā radās mūsu Visums?

- Līdz 20.gs. mēs uzskatījām, ka Visums ir statisks un nemainīgs;
- 1929. gadā Edwin Hubble prezentē savus novērojumus par visuma izplešanos;
- Šo gadu varam uzskatīt par Lielā Sprādziena Teorijas dzimšanas dienu!



Edwin Hubble,
Proceedings of the National Academy of Sciences
Volume 15 : March 15, 1929 : Number 3

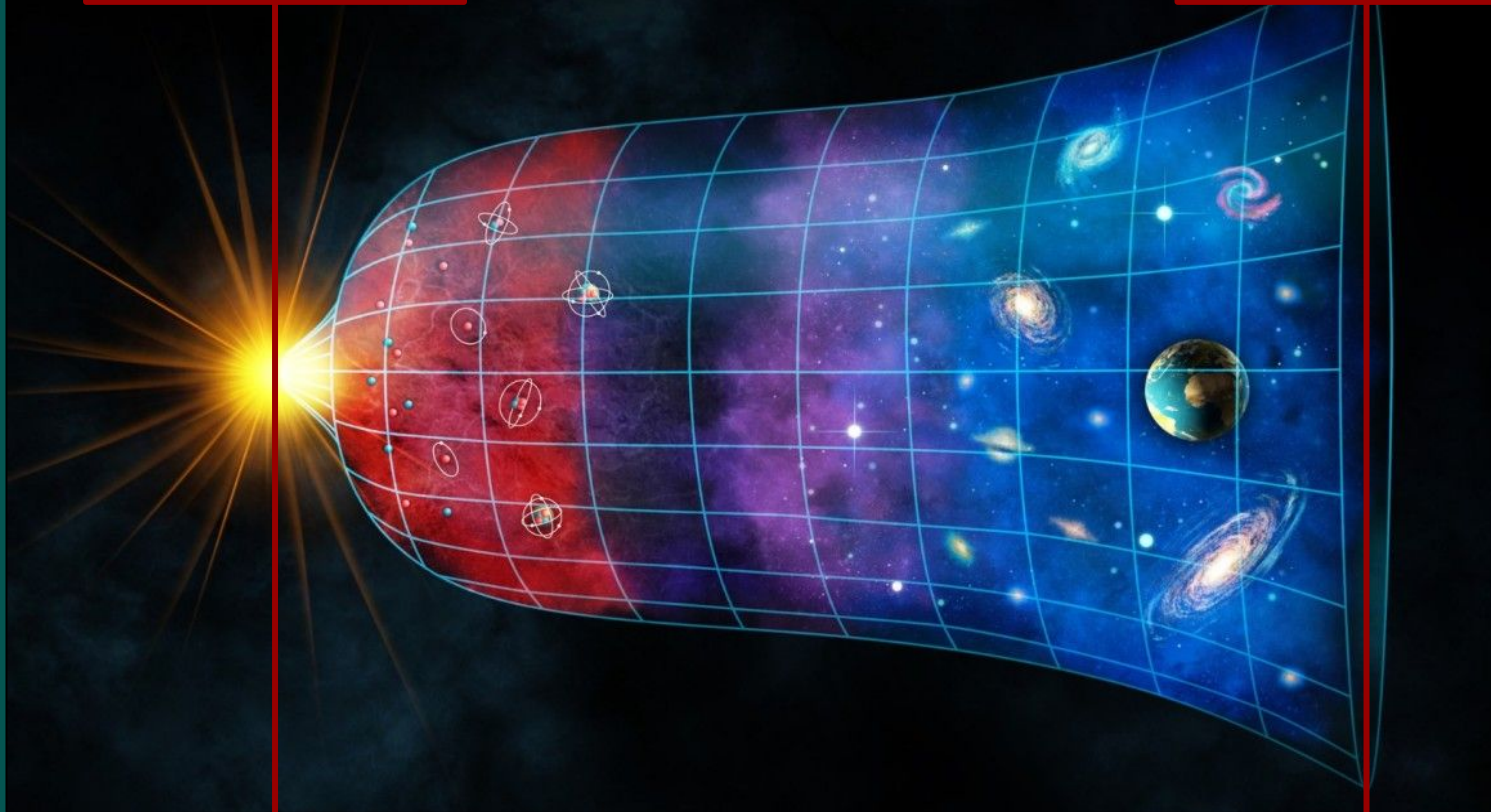
Lielā Sprādziena Teorija



Lielā Sprādziena Teorija

Lielais Sprādziens

Šodiena



Lielais Sprādziens

Šodiena

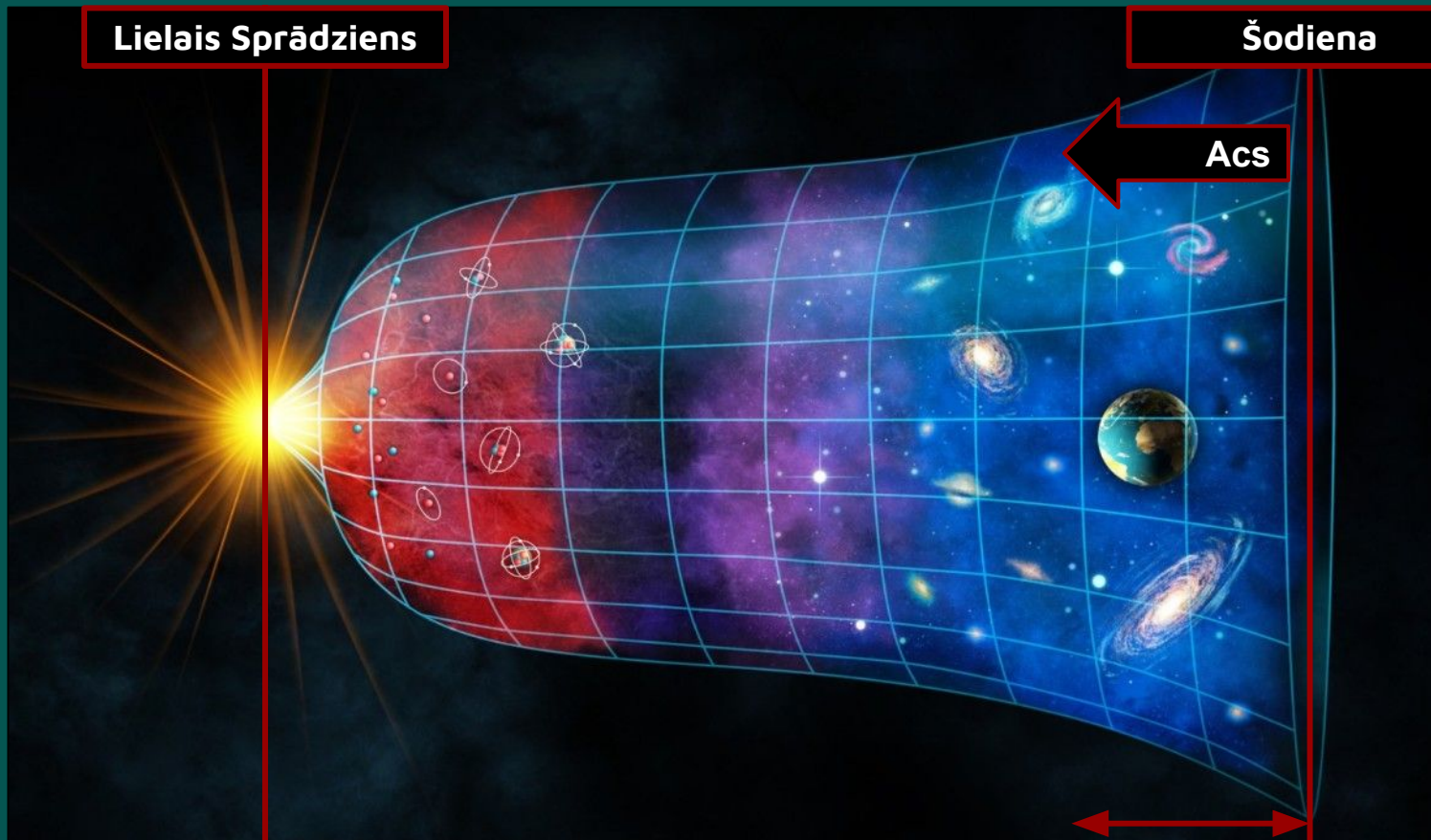


Gaismas ātrums (vakuumā):
 $c = 299'792'458 \text{ m/s}$

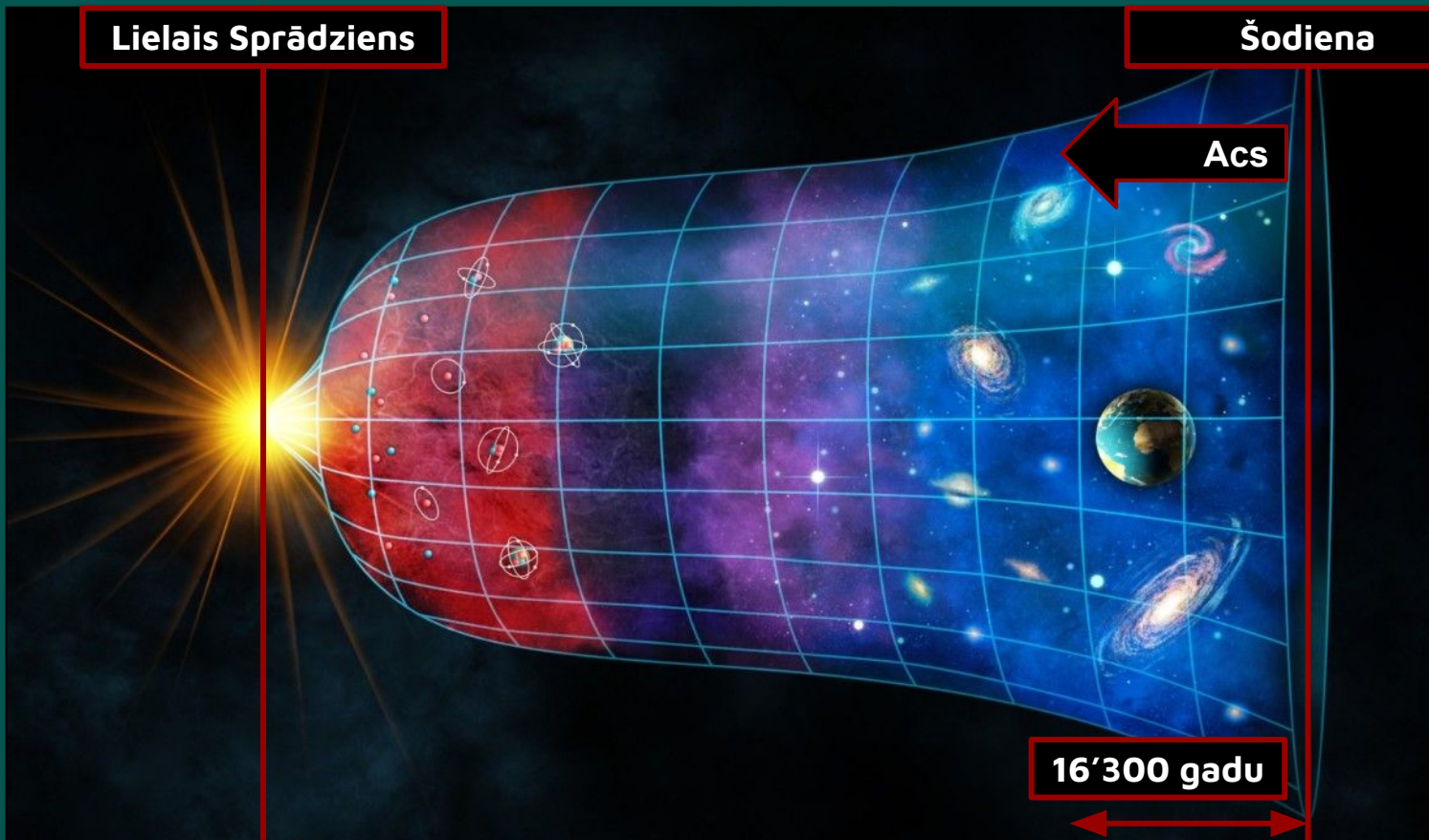
Lielā Sprādziena Teorija



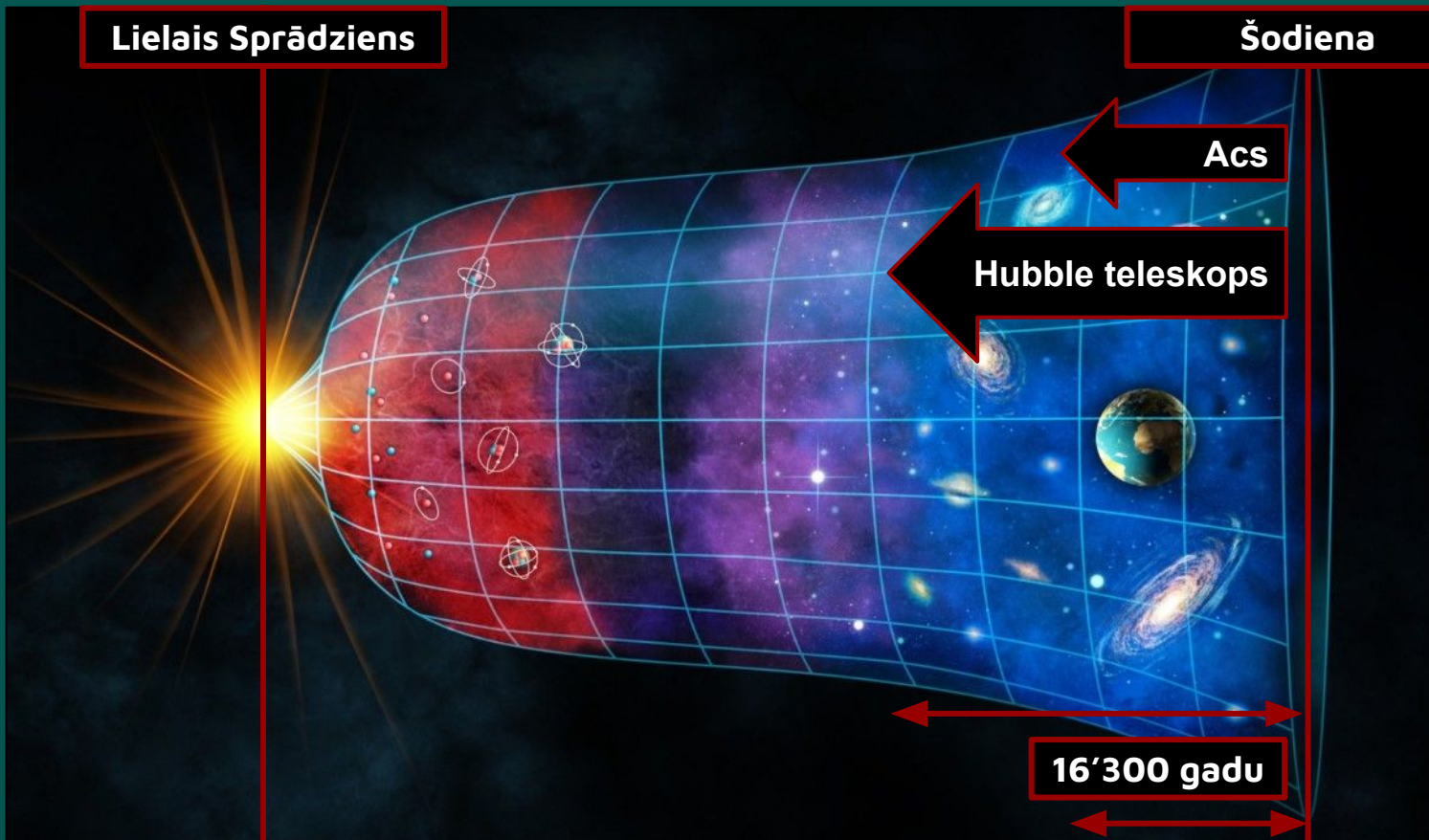
Kosmiskie novērojumi



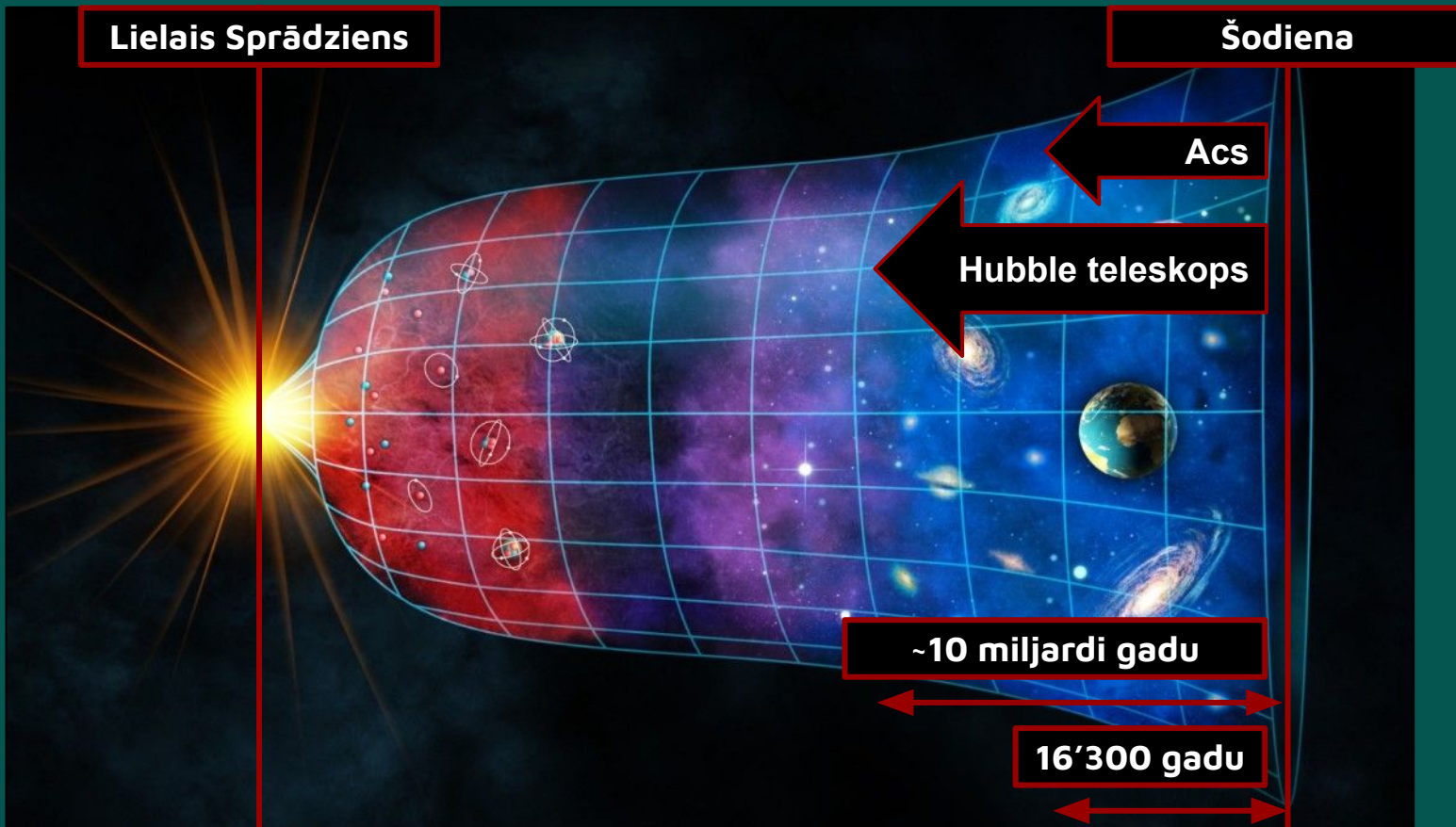
Kosmiskie novērojumi



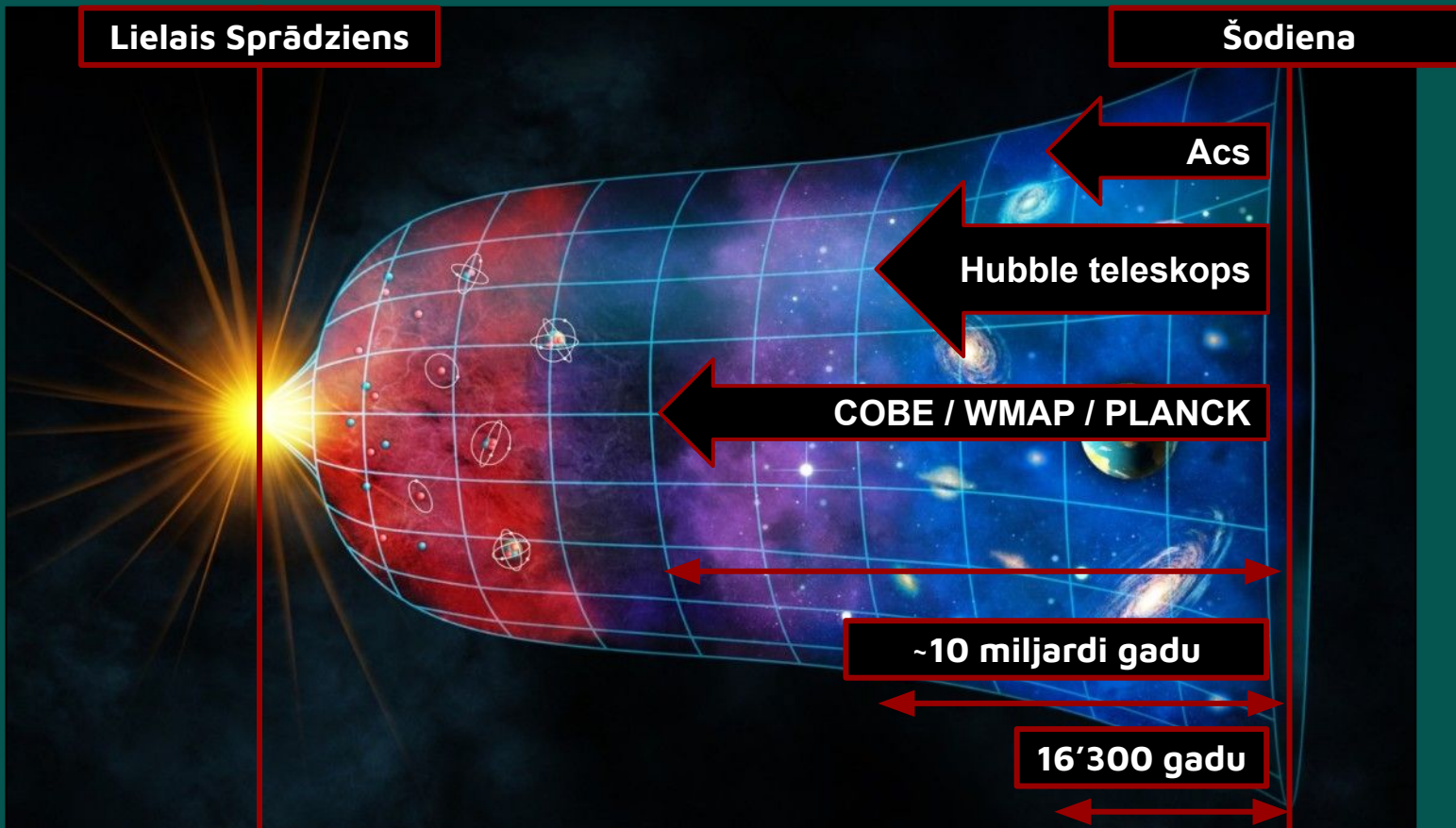
Kosmiskie novērojumi



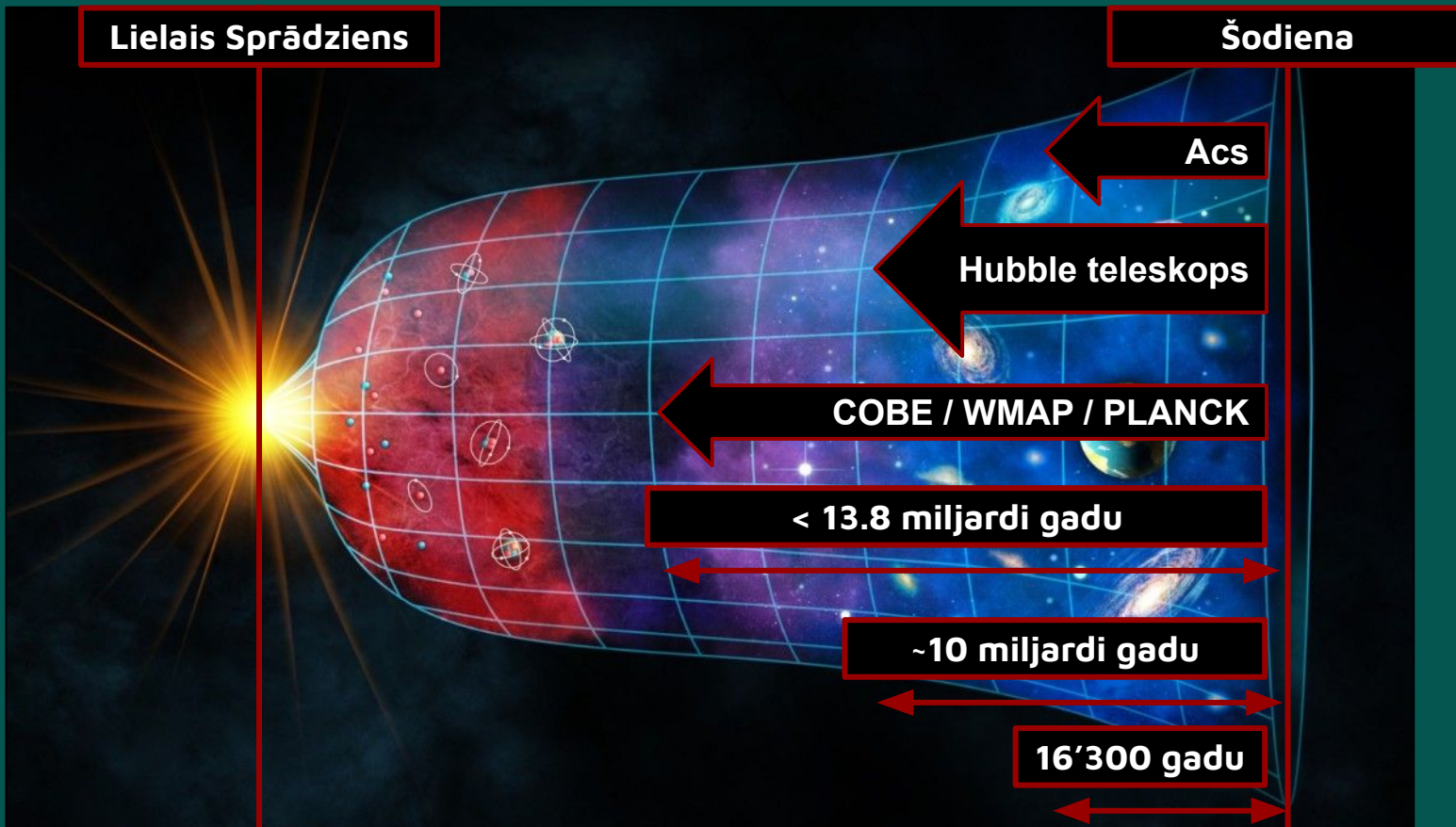
Kosmiskie novērojumi



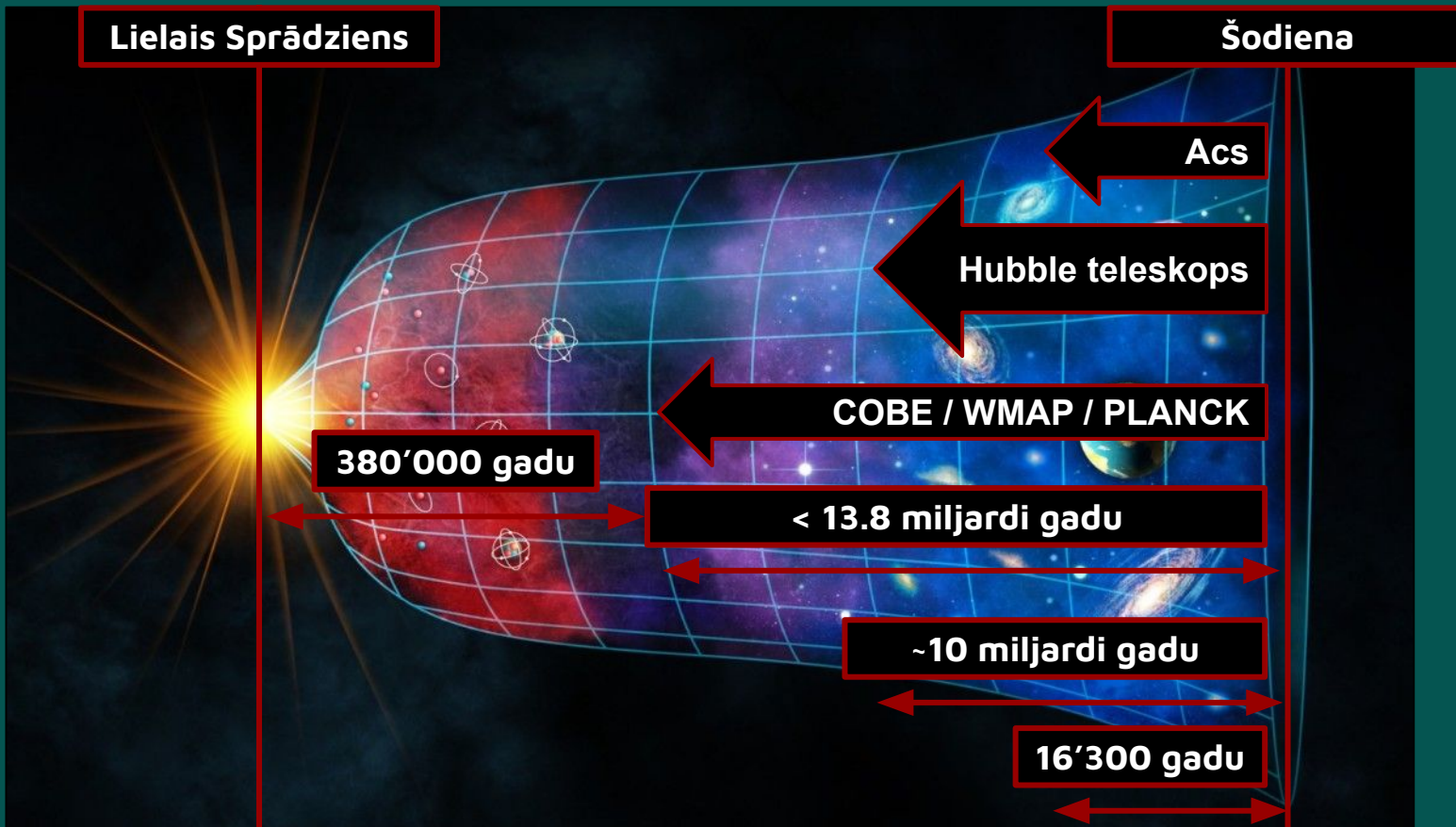
Kosmiskie novērojumi



Kosmiskie novērojumi

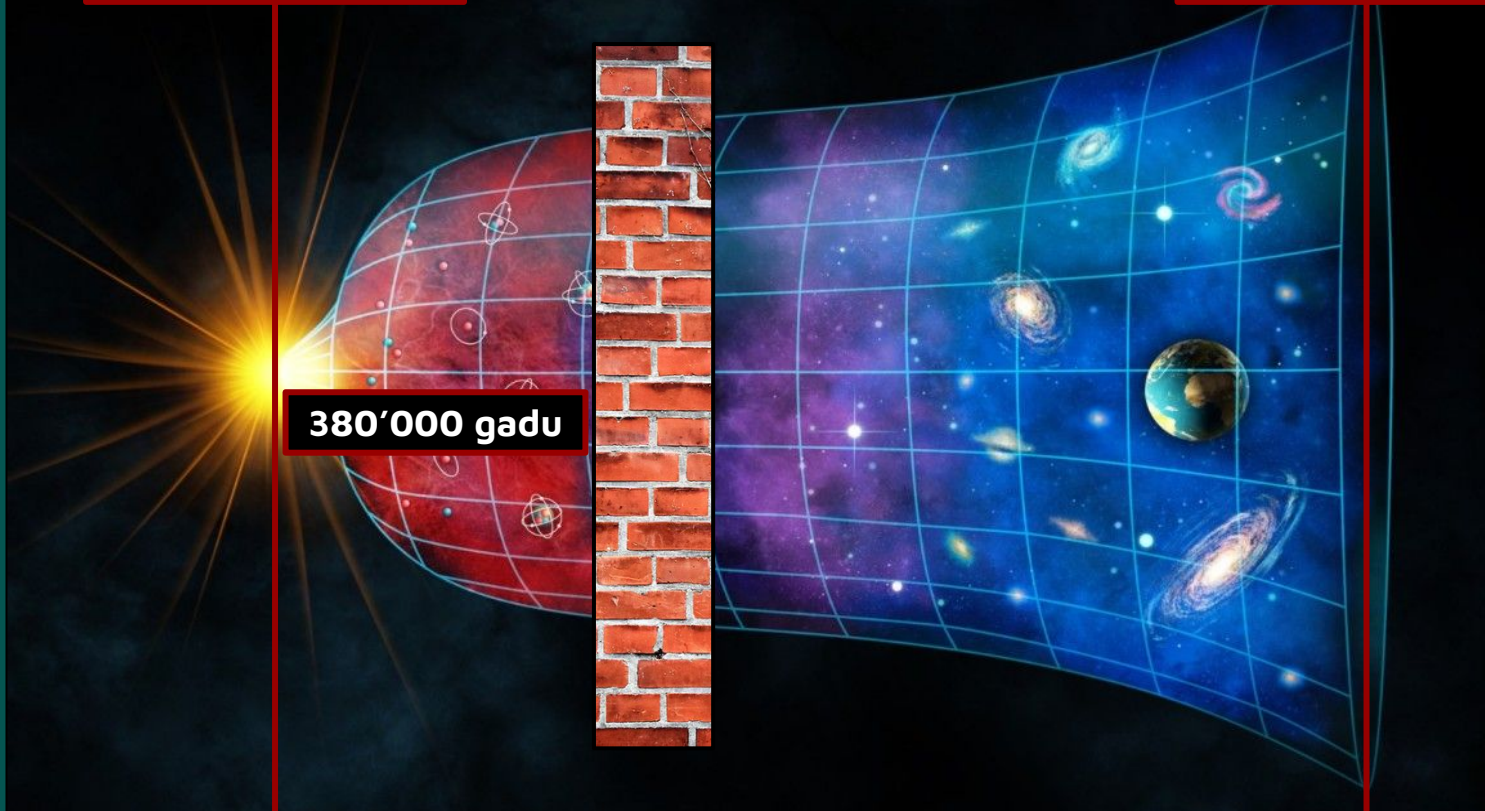


Kosmiskie novērojumi

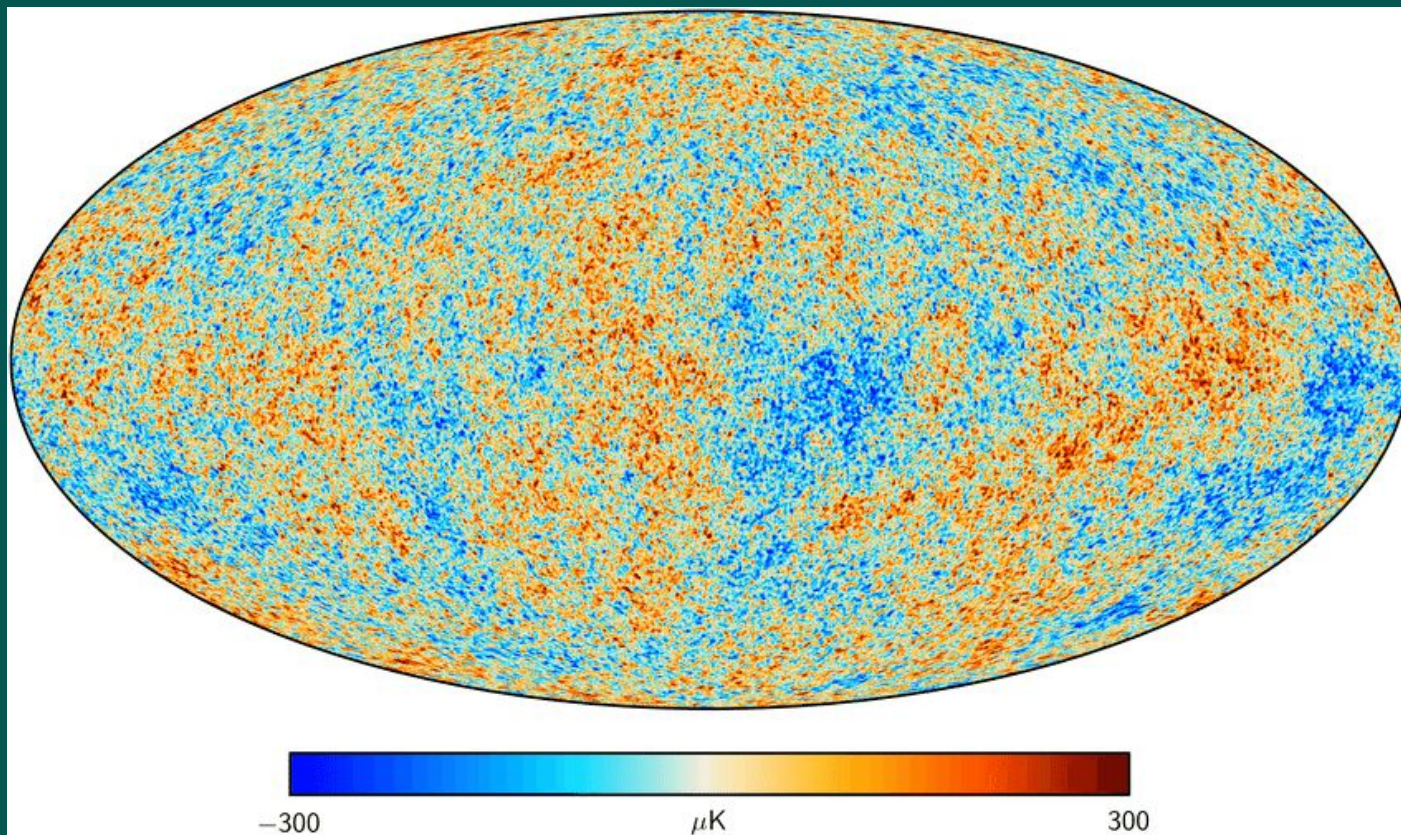


Lielais Sprādziens

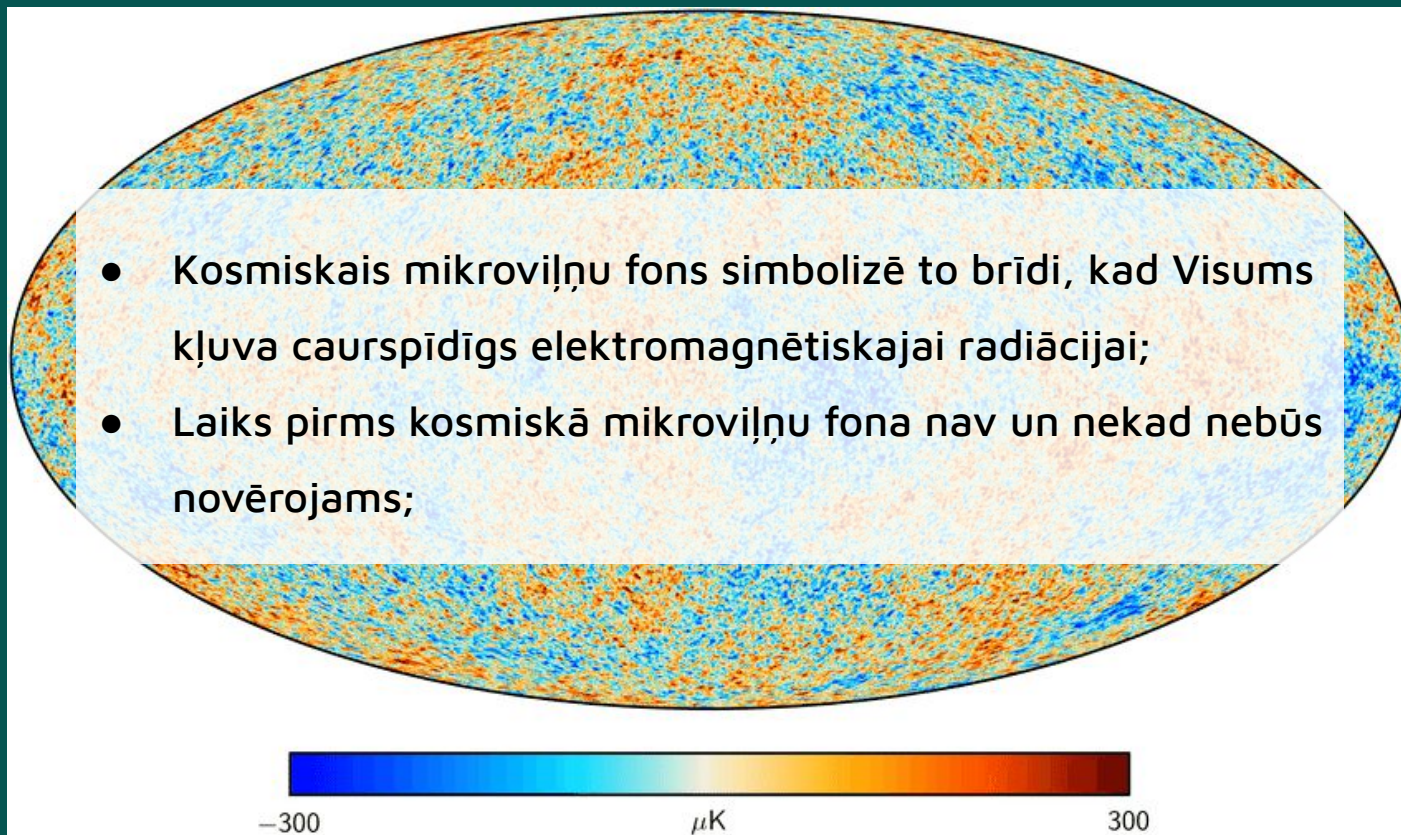
Šodiena



Kosmiskais mikroviļņu fons



vidēji $\sim 2.7\text{K}$ (-270.5C)



-300

μK

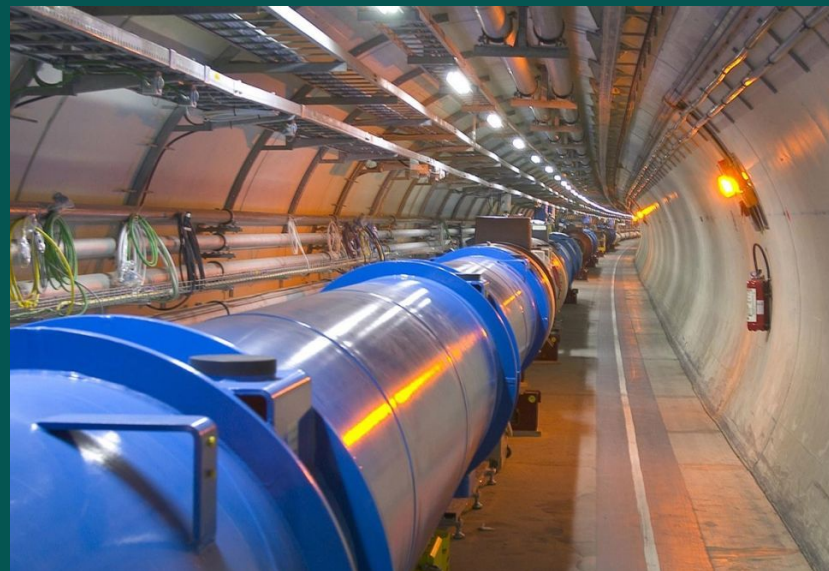
300

vidēji ~2.7K (-270.5 C)



*Daļiņu paātrinātāji - kolaideri:
Liels Hadronu Paātrinātājs
CERN*

Lielais Hadronu Paātrinātājs



- 27 km garš *aplis* zem Šveice/Francijas robežas!
- Paātrina protonus līdz 7 TeV!



Liels Hadronu Paātrinātājs - Trivia



- LHC *stars* ir aptuveni 3.5 μm diametrā ...



Liels Hadronu Paātrinātājs - Trivia



- LHC *stars* ir aptuveni $3.5 \mu\text{m}$ diametrā ... cilvēka mats ir $\sim 50 \mu\text{m}$!



Liels Hadronu Paātrinātājs - Trivia



- LHC *stars* ir aptuveni 3.5 μm diametrā ... cilvēka mats ir ~50 μm !
- Katrā LHC stara kūlītī ir aptuveni 10^{11} protonu ...



- LHC *stars* ir aptuveni 3.5 μm diametrā ... cilvēka mats ir ~50 μm !
- Katrā LHC stara kūlītī ir aptuveni 10^{11} protonu ... aptuveni tik pat protonu, cik zvaigžņu Piena Ceļā!



Liels Hadronu Paātrinātājs - Trivia



- LHC *stars* ir aptuveni $3.5 \mu\text{m}$ diametrā ... cilvēka mats ir $\sim 50 \mu\text{m}$!
- Katrā LHC stara kūlītī ir aptuveni 10^{11} protonu ... aptuveni tik pat protonu, cik zvaigžņu Piena Ceļā!
- LHC staru kinētiskā enerģija ir $\sim 362 \text{ MJ}$...



Lielsais Hadronu Paātrinātājs - Trivia



- LHC *stars* ir aptuveni 3.5 μm diametrā ... cilvēka mats ir $\sim 50 \mu\text{m}$!
- Katrā LHC stara kūlītī ir aptuveni 10^{11} protonu ... aptuveni tik pat protonu, cik zvaigžņu Piena Ceļā!
- LHC staru kinētiskā enerģija ir $\sim 362 \text{ MJ}$... tik pat cik rallija auto, kas traucas ar 2300 km/h!



- LHC *stars* ir aptuveni 3.5 μm diametrā ... cilvēka mats ir ~50 μm !
- Katrā LHC stara kūlītī ir aptuveni 10^{11} protonu ... aptuveni tik pat protonu, cik zvaigžņu Piena Ceļā!
- LHC staru kinētiskā enerģija ir ~ 362 MJ ... tik pat cik rallija auto, kas traucas ar 2300 km/h!
- LHC ir tukšākā, aukstākā un karstākā vieta Visumā!



- LHC *stars* ir aptuveni 3.5 μm diametrā ... cilvēka mats ir $\sim 50 \mu\text{m}$!
- Katrā LHC stara kūlītī ir aptuveni 10^{11} protonu ... aptuveni tik pat protonu, cik zvaigžņu Piena Ceļā!
- LHC staru kinētiskā enerģija ir $\sim 362 \text{ MJ}$... tik pat cik rallija auto, kas traucas ar 2300 km/h!
- LHC ir tukšākā, aukstākā un karstākā vieta Visumā!
- LHC magnēti ir uztīti no 7 μm bieza niobija-titāna stieples; ja visu LHC magnētu stiepli attītu un saliktu galu pie gala, tā stieptos ...



- LHC *stars* ir aptuveni 3.5 μm diametrā ... cilvēka mats ir $\sim 50 \mu\text{m}$!
- Katrā LHC stara kūlītī ir aptuveni 10^{11} protonu ... aptuveni tik pat protonu, cik zvaigžņu Piena Ceļā!
- LHC staru kinētiskā enerģija ir $\sim 362 \text{ MJ}$... tik pat cik rallija auto, kas traucas ar 2300 km/h!
- LHC ir tukšākā, aukstākā un karstākā vieta Visumā!
- LHC magnēti ir uztīti no 7 μm bieza niobija-titāna stieples; ja visu LHC magnētu stiepli attītu un saliktu galu pie gala, tā stieptos ... no Zemes līdz Saulei (un atpakaļ) ...

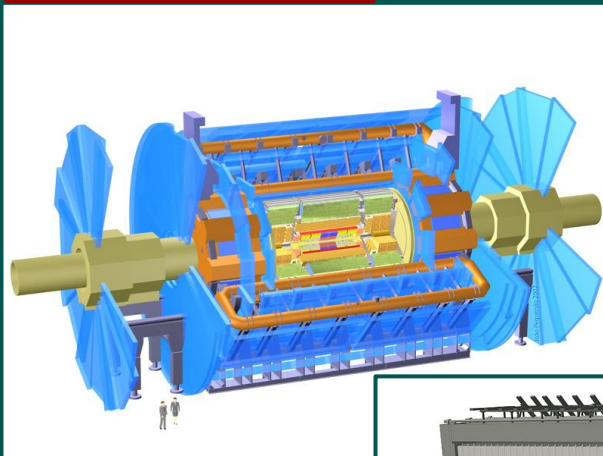


- LHC *stars* ir aptuveni 3.5 μm diametrā ... cilvēka mats ir ~50 μm !
- Katrā LHC stara kūlītī ir aptuveni 10^{11} protonu ... aptuveni tik pat protonu, cik zvaigžņu Piena Ceļā!
- LHC staru kinētiskā enerģija ir ~ 362 MJ ... tik pat cik rallija auto, kas traucas ar 2300 km/h!
- LHC ir tukšākā, aukstākā un karstākā vieta Visumā!
- LHC magnēti ir uztīti no 7 μm bieza niobija-titāna stieples; ja visu LHC magnētu stiepli attītu un saliktu galu pie gala, tā stieptos ... no Zemes līdz Saulei (un atpakaļ) ... 5 reizes (80 gaismas minūtes)!

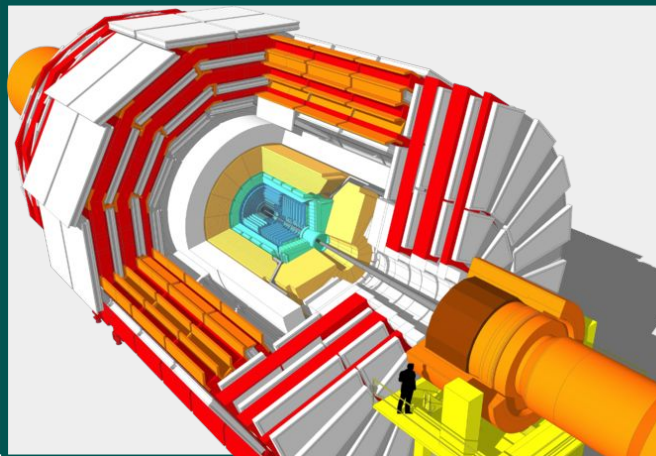


- LHC *stars* ir aptuveni 3.5 μm diametrā ... cilvēka mats ir ~50 μm !
- Katrā LHC stara kūlītī ir aptuveni 10^{11} protonu ... aptuveni tik pat protonu, cik zvaigžņu Piena Ceļā!
- LHC staru kinētiskā enerģija ir ~ 362 MJ ... tik pat cik rallija auto, kas traucas ar 2300 km/h!
- LHC ir tukšākā, aukstākā un karstākā vieta Visumā!
- LHC magnēti ir uztīti no 7 μm bieza niobija-titāna stieples; ja visu LHC magnētu stiepli attītu un saliktu galu pie gala, tā stieptos ... no Zemes līdz Saulei (un atpakaļ) ... 5 reizes (80 gaismas minūtes)!

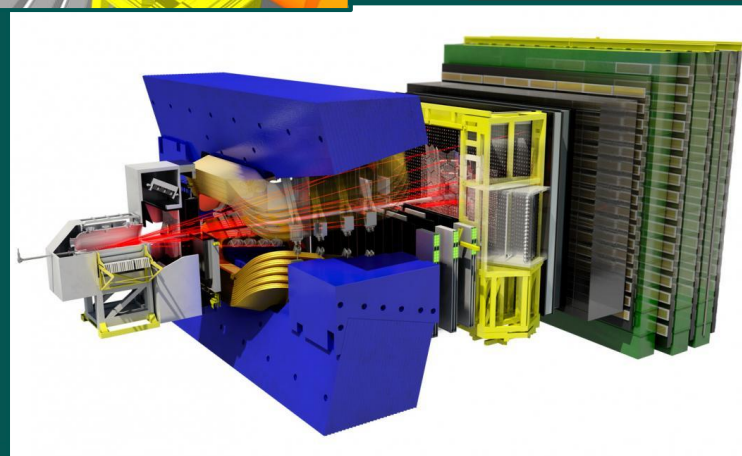
ATLAS



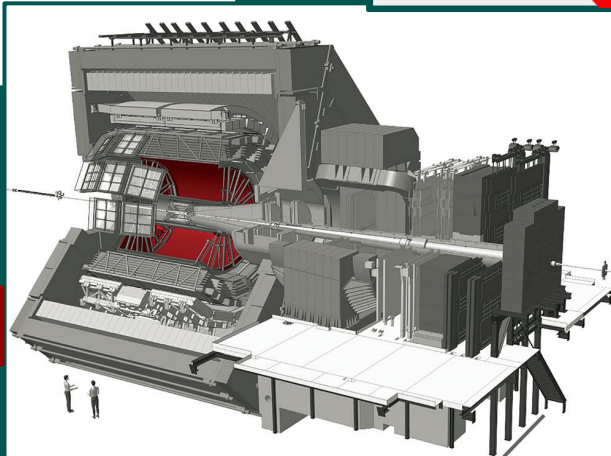
CMS



LHCb



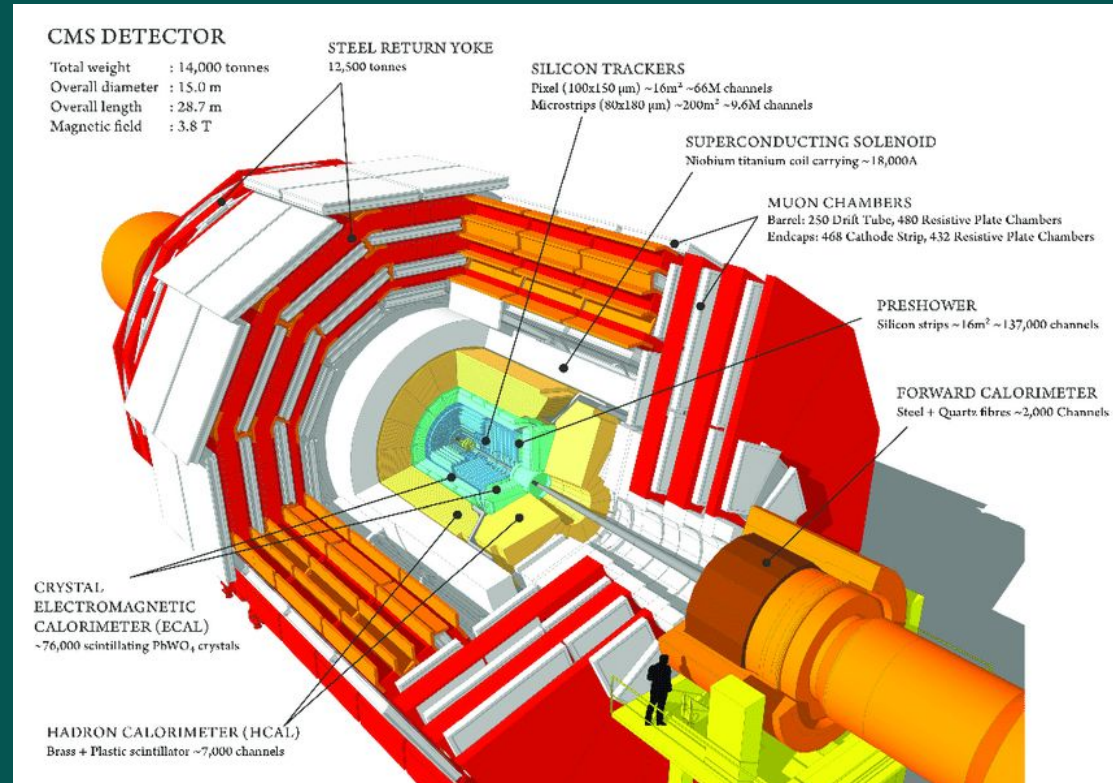
ALICE





Augstas enerģijas daļiņu fizika (HEP)

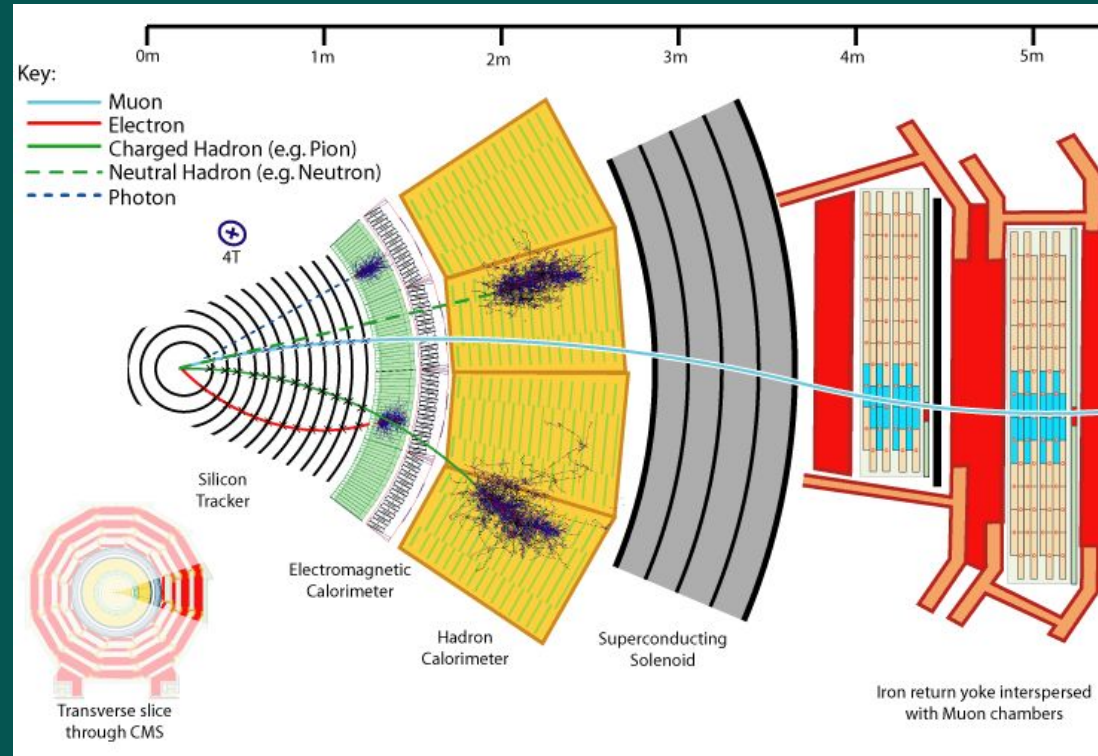
- Šie lielie eksperimenti ir milzīga izmēra *kameras*;
- Šīs kameras fiksē daļiņu sadursmes katras 25ns, jeb 40 miljonus reižu sekundē!





Augstas enerģijas daļiņu fizika (HEP)

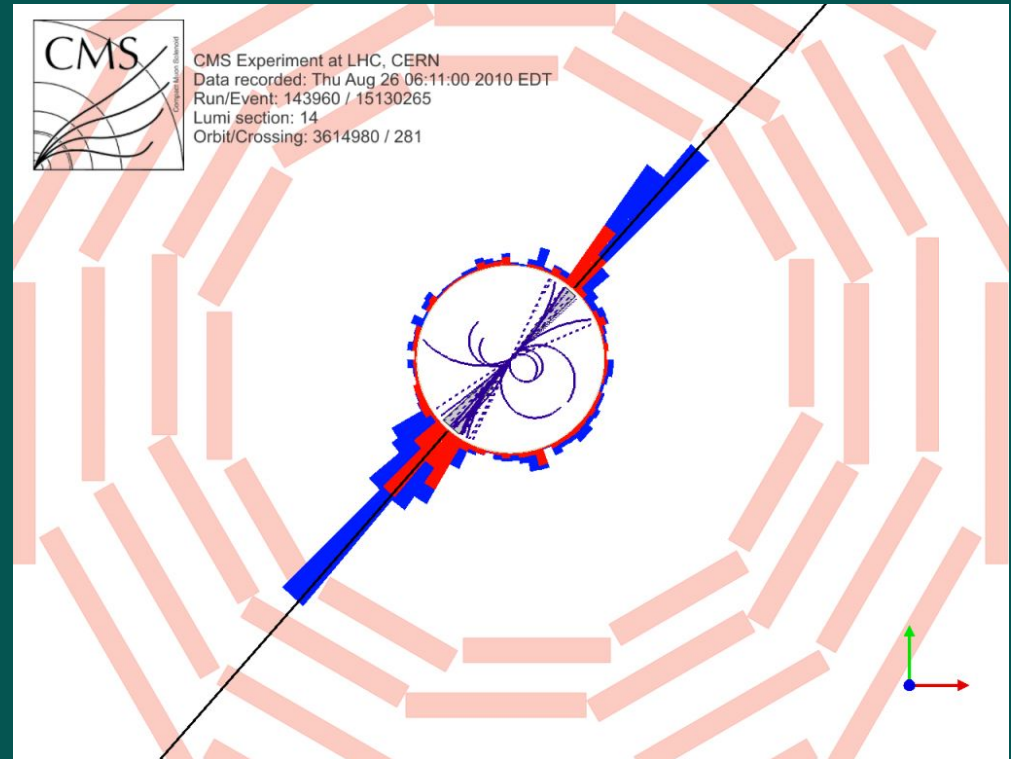
- Šie lielie eksperimenti ir milzīga izmēra *kameras*;
- Šīs kameras fiksē daļiņu sadursmes katras 25ns, jeb 40 miljonus reižu sekundē!
- Detektori izmanto dažādus tehnoloģiskos risinājumus dažādu daļiņu detektēšanai.



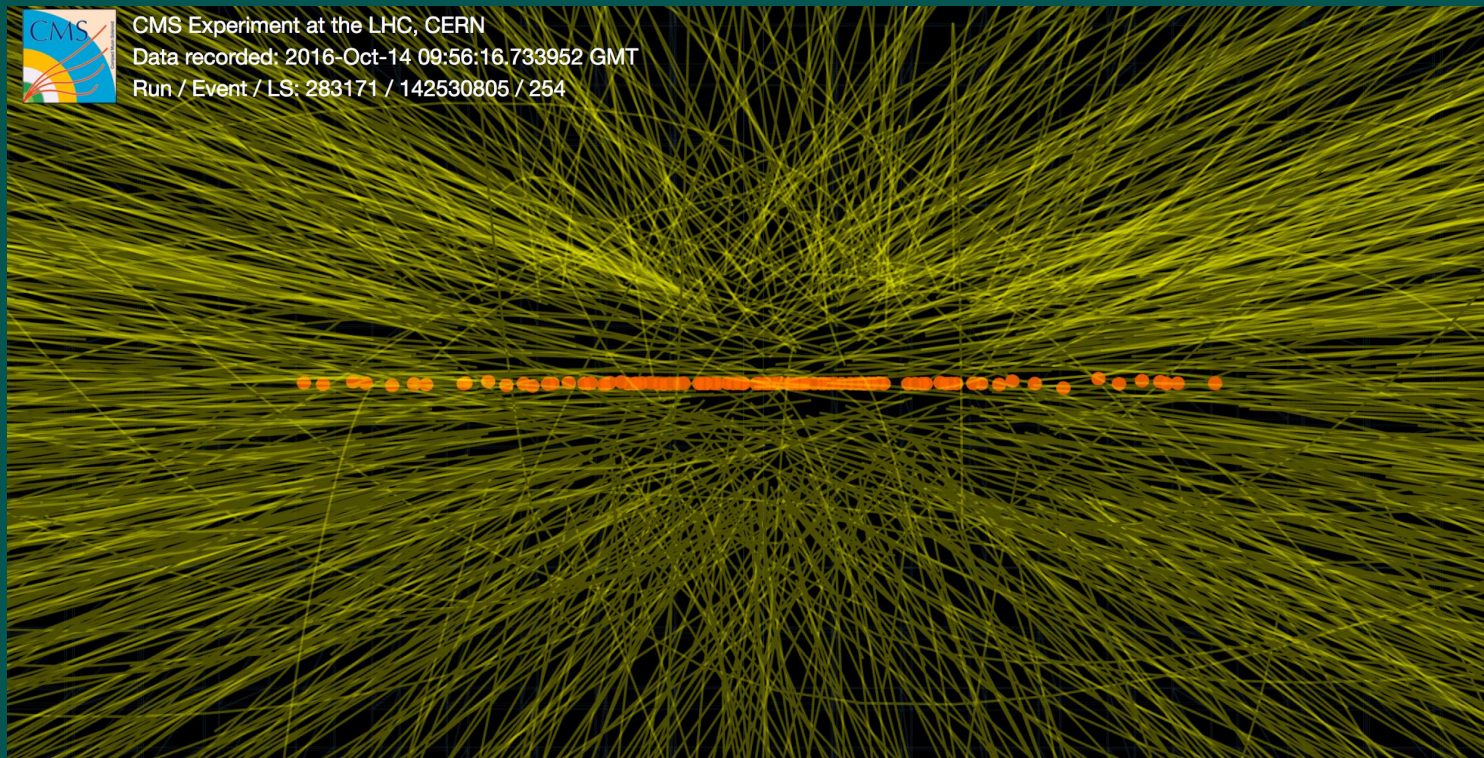


Augstas enerģijas daļiņu fizika (HEP)

- Ideāli sadursmju *notikumi* ir tādi, kuru rezultātā *kondensējas* vien dažas ārkārtīgi augstas enerģijas daļiņas;



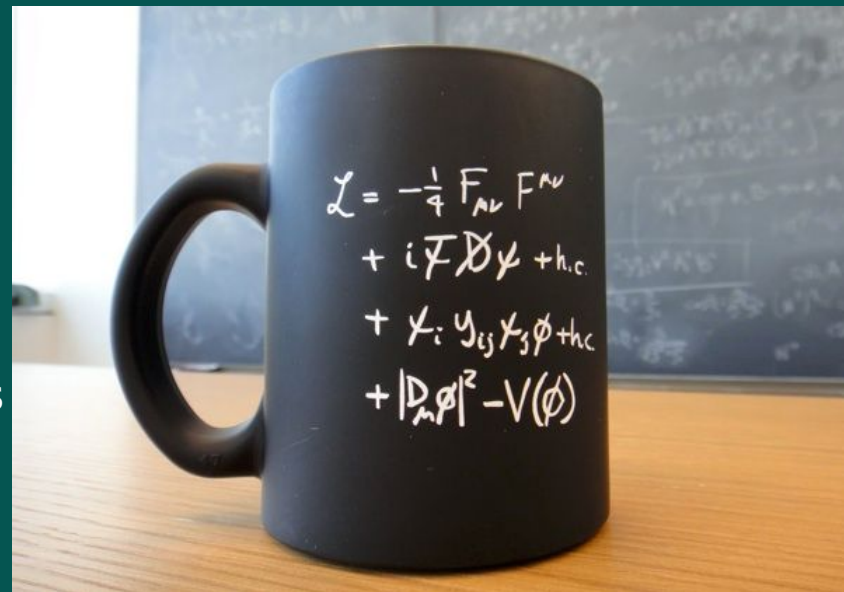
- Bet realitāte ir mazliet sarežģītāka ...





Kādi ir Visuma uzbūvi noteicošie fizikas likumi?

- Kvantu Lauku Teorija, kas vienā teorētiskajā ietvarā apvieno 3/4 fundamentālajiem spēkiem;
- Fundamentālā parādība nav daļiņas, bet gan lauki; ierosinājumi šajos laukos manifestējas kā elementārdaļiņas;
- Šie lauki caurvij visu mūsu Visuma četrdimensiju vidi;



Standartmodeļa vienādojums

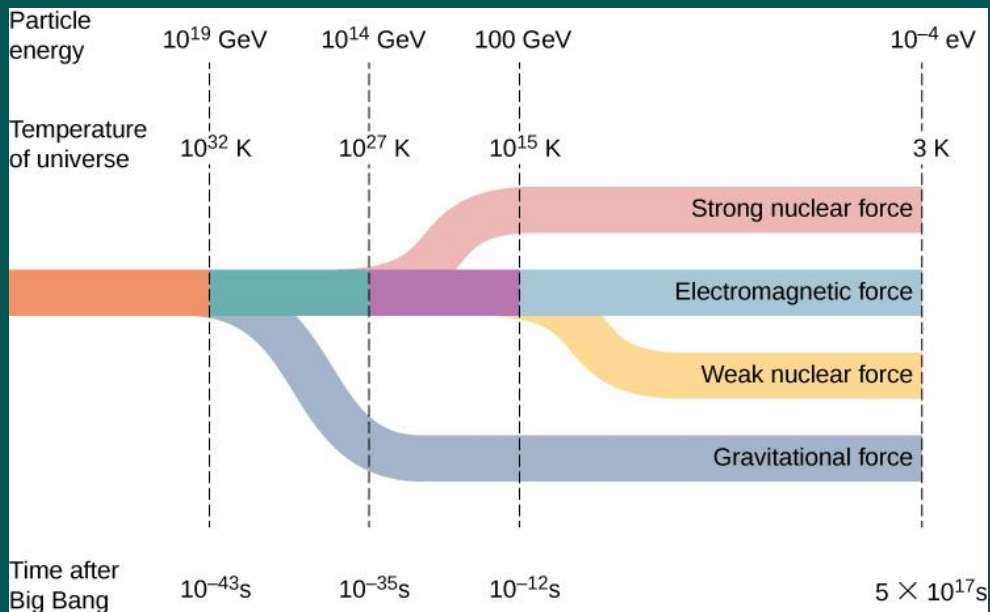


Standartmodelis

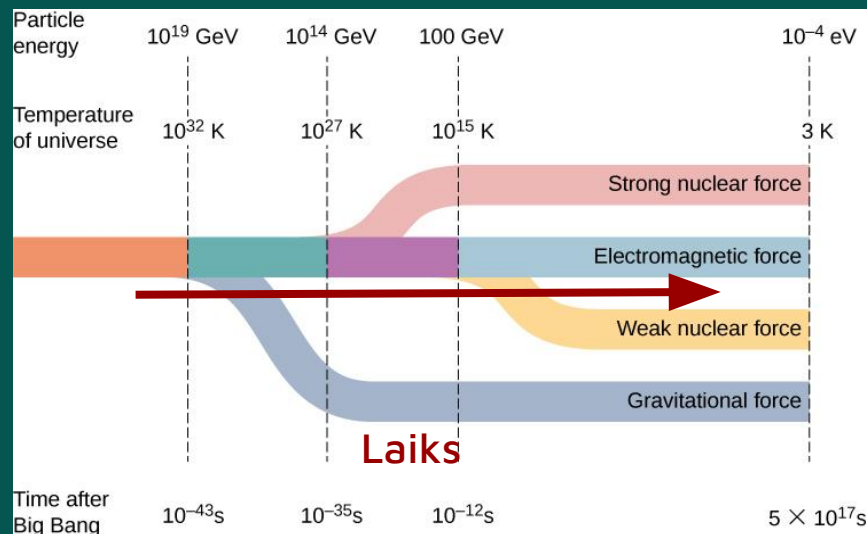
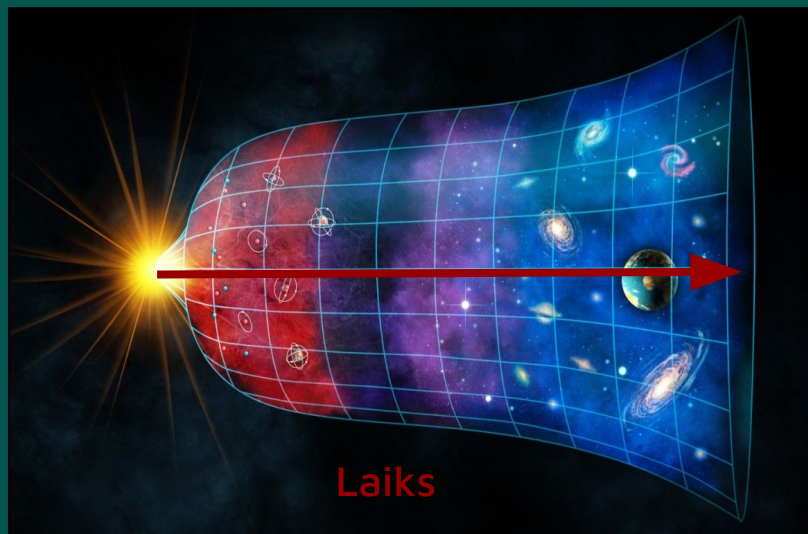
$$\begin{aligned}
 \mathcal{L}_{SM} = & -\frac{1}{2}\partial_\mu g_\mu^a \partial_\nu g_\mu^a - g_s f^{abc} \partial_\mu g_\nu^b g_\mu^c - \frac{1}{4}g_s^2 f^{abc} f^{ade} g_\mu^b g_\nu^c g_\mu^d g_\nu^e - \partial_\mu W_\nu^+ \partial_\mu W_\nu^- - \\
 & M^2 W_\mu^+ W_\mu^- - \frac{1}{2}\partial_\mu Z_\nu^0 \partial_\mu Z_\nu^0 - \frac{1}{2c_w^2} M^2 Z_\mu^0 Z_\mu^0 - \frac{1}{2}\partial_\mu A_\nu \partial_\mu A_\nu - ig_{cw} (\partial_\mu Z_\nu^0 (W_\mu^+ W_\nu^- - \\
 & W_\mu^- W_\nu^+) - Z_\nu^0 (W_\mu^+ \partial_\mu W_\nu^- - W_\mu^- \partial_\mu W_\nu^+) + Z_\nu^0 (W_\mu^+ \partial_\mu W_\nu^- - W_\mu^- \partial_\mu W_\nu^+)) - \\
 & ig_{sw} (\partial_\mu A_\nu (W_\mu^+ W_\nu^- - W_\mu^- W_\nu^+) - A_\nu (W_\mu^+ \partial_\mu W_\nu^- - W_\mu^- \partial_\mu W_\nu^+) + A_\nu (W_\mu^- \partial_\mu W_\nu^+ - \\
 & W_\mu^+ \partial_\mu W_\nu^-)) - \frac{1}{2}g^2 W_\mu^+ W_\nu^- W_\nu^+ W_\mu^- + \frac{1}{2}g^2 W_\mu^+ W_\nu^+ W_\nu^- W_\mu^- + g^2 c_w^2 (Z_\mu^0 Z_\nu^0 W_\mu^+ W_\nu^- - \\
 & Z_\mu^0 Z_\nu^0 W_\mu^- W_\nu^+) + g^2 s_w^2 (A_\mu W_\nu^+ A_\nu W_\mu^- - A_\mu A_\nu W_\mu^+ W_\nu^-) + g^2 s_w c_w (A_\mu Z_\nu^0 (W_\mu^+ W_\nu^- - \\
 & W_\mu^- W_\nu^+) - 2A_\mu Z_\nu^0 W_\mu^+ W_\nu^-) - \frac{1}{2}\partial_\mu H \partial_\nu H - 2M^2 \alpha_h H^2 - \partial_\mu \phi^+ \partial_\mu \phi^- - \frac{1}{2}\partial_\mu \phi^0 \partial_\mu \phi^0 - \\
 & \beta_h \left(\frac{2M^2}{g^2} + \frac{2M}{g} H + \frac{1}{2}(H^2 + \phi^0 \phi^0 + 2\phi^+ \phi^-) \right) + \frac{2M}{g^2} \alpha_h - \\
 & g\alpha_h M (H^3 + H\phi^0 \phi^0 + 2H\phi^+ \phi^-) - \\
 & \frac{1}{8}g^2 \alpha_h (H^4 + (\phi^0)^4 + 4(\phi^+ \phi^-)^2 + 4(\phi^0)^2 \phi^+ \phi^- + 4H^2 \phi^+ \phi^- + 2(\phi^0)^2 H^2) - \\
 & gM W_\mu^+ W_\nu^- H - \frac{1}{2}g \frac{M}{c_w} Z_\mu^0 Z_\nu^0 H - \\
 & \frac{1}{2}ig (W_\mu^+ (\phi^0 \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu \phi^0) - W_\mu^- (\phi^0 \partial_\mu \phi^+ - \phi^+ \partial_\mu \phi^0)) + \\
 & \frac{1}{2}g (W_\mu^+ (H\partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu H) + W_\mu^- (H\partial_\mu \phi^+ - \phi^+ \partial_\mu H)) + \frac{1}{2}g \frac{M}{c_w} (Z_\mu^0 (H\partial_\mu \phi^0 - \phi^0 \partial_\mu H) + \\
 & M (\frac{1}{c_w} Z_\mu^0 \partial_\mu \phi^0 + W_\mu^+ \partial_\mu \phi^- + W_\mu^- \partial_\mu \phi^+) - ig \frac{g^2}{c_w} M Z_\mu^0 (W_\mu^+ \phi^- - W_\mu^- \phi^+) + ig_{sw} M A_\mu (W_\mu^+ \phi^- - \\
 & W_\mu^- \phi^+) - ig \frac{1-2c_w^2}{2c_w} Z_\mu^0 (\phi^+ \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu \phi^+) + ig_{sw} A_\mu (\phi^+ \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu \phi^+) - \\
 & \frac{1}{4}g^2 W_\mu^+ W_\nu^- (H^2 + (\phi^0)^2 + 2\phi^+ \phi^-) - \frac{1}{8}g^2 \frac{1}{c_w^2} Z_\mu^0 Z_\nu^0 (H^2 + (\phi^0)^2 + 2(2s_w^2 - 1)^2 \phi^+ \phi^-) - \\
 & \frac{1}{2}g^2 \frac{2s_w}{c_w} Z_\mu^0 Z_\nu^0 (W_\mu^+ \phi^- + W_\mu^- \phi^+) - \frac{1}{2}ig^2 \frac{2s_w}{c_w} H (W_\mu^+ \phi^- - W_\mu^- \phi^+) + \frac{1}{2}g^2 s_w A_\mu \phi^0 (W_\mu^+ \phi^- + \\
 & W_\mu^- \phi^+) + \frac{1}{2}ig^2 s_w A_\mu H (W_\mu^+ \phi^- - W_\mu^- \phi^+) - g^2 \frac{2s_w}{c_w} (2c_w^2 - 1) Z_\mu^0 A_\nu \phi^+ \phi^- - \\
 & g^2 s_w^2 A_\mu A_\nu \phi^+ \phi^- + \frac{1}{2}ig_s \chi_{ij}^a (g_i^a \gamma^a g_j^a) g_\mu^a - \bar{e}^\lambda (\gamma^\partial + m_e^\lambda) e^\lambda - \bar{\nu}^\lambda (\gamma^\partial + m_\nu^\lambda) \nu^\lambda - \bar{u}_j^\lambda (\gamma^\partial + \\
 & m_u^\lambda) u_j^\lambda - \bar{d}_j^\lambda (\gamma^\partial + m_d^\lambda) d_j^\lambda + ig_{sw} A_\mu (-\bar{e}^\lambda \gamma^\mu e^\lambda + \frac{2}{3}(\bar{u}_j^\lambda \gamma^\mu u_j^\lambda) - \frac{1}{3}(\bar{d}_j^\lambda \gamma^\mu d_j^\lambda)) + \\
 & \frac{ig}{4s_w} Z_\mu^0 \{ (\bar{\nu}^\lambda \gamma^\mu (1 + \gamma^5) \nu^\lambda) + (\bar{e}^\lambda \gamma^\mu (4s_w^2 - 1 - \gamma^5) e^\lambda) + (\bar{d}_j^\lambda \gamma^\mu (\frac{4}{3}s_w^2 - 1 - \gamma^5) d_j^\lambda) + \\
 & (\bar{u}_j^\lambda \gamma^\mu (1 - \frac{8}{3}s_w^2 + \gamma^5) u_j^\lambda) \} + \frac{ig}{2\sqrt{2}} W_\mu^+ \{ (\bar{\nu}^\lambda \gamma^\mu (1 + \gamma^5) \nu^\lambda e^\lambda) + (\bar{u}_j^\lambda \gamma^\mu (1 + \gamma^5) C_{\lambda k} d_j^\lambda) \} + \\
 & \frac{ig}{2\sqrt{2}} W_\mu^- \{ (\bar{e}^\lambda U^{lep} \nu^\lambda \gamma^\mu (1 + \gamma^5) \nu^\lambda) + (\bar{d}_j^\lambda C_{\lambda k}^+ \gamma^\mu (1 + \gamma^5) u_j^\lambda) \} + \\
 & \frac{ig}{2M\sqrt{2}} \phi^- (-m_e^\lambda (\bar{\nu}^\lambda U^{lep} \nu^\lambda (1 - \gamma^5) e^\lambda) + m_\nu^\lambda (\bar{\nu}^\lambda U^{lep} \nu^\lambda (1 + \gamma^5) e^\lambda) + \\
 & \frac{ig}{2M\sqrt{2}} \phi^- (m_e^\lambda (\bar{e}^\lambda U^{lep} \nu^\lambda (1 + \gamma^5) \nu^\lambda) - m_\nu^\lambda (\bar{e}^\lambda U^{lep} \nu^\lambda (1 - \gamma^5) \nu^\lambda) - \frac{g}{2} \frac{m_\nu^2}{M} H (\bar{\nu}^\lambda \nu^\lambda) - \\
 & \frac{g}{2} \frac{m_e^2}{M} H (\bar{e}^\lambda e^\lambda) + \frac{ig}{2} \frac{m_\nu^2}{M} \phi^0 (\bar{\nu}^\lambda \gamma^5 \nu^\lambda) - \frac{ig}{2} \frac{m_e^2}{M} \phi^0 (\bar{e}^\lambda \gamma^5 e^\lambda) - \frac{1}{4} \bar{\nu}_\lambda M_{\lambda\kappa}^R (1 - \gamma_5) \bar{\nu}_\kappa - \\
 & \frac{1}{4} \bar{\nu}_\lambda M_{\lambda\kappa}^R (1 - \gamma_5) \bar{\nu}_\kappa + \frac{ig}{2M\sqrt{2}} \phi^+ (-m_u^\lambda (\bar{u}_j^\lambda C_{\lambda\kappa} (1 - \gamma^5) d_j^\lambda) + m_d^\lambda (\bar{u}_j^\lambda C_{\lambda\kappa} (1 + \gamma^5) d_j^\lambda) + \\
 & \frac{ig}{2M\sqrt{2}} \phi^- (m_d^\lambda (\bar{d}_j^\lambda C_{\lambda\kappa}^+ (1 + \gamma^5) u_j^\lambda) - m_u^\lambda (\bar{d}_j^\lambda C_{\lambda\kappa}^- (1 - \gamma^5) u_j^\lambda) - \frac{g}{2} \frac{m_u^2}{M} H (\bar{u}_j^\lambda u_j^\lambda) - \\
 & \frac{g}{2} \frac{m_d^2}{M} H (\bar{d}_j^\lambda d_j^\lambda) + \frac{ig}{2} \frac{m_u^2}{M} \phi^0 (\bar{u}_j^\lambda \gamma^5 u_j^\lambda) - \frac{ig}{2} \frac{m_d^2}{M} \phi^0 (\bar{d}_j^\lambda \gamma^5 d_j^\lambda) + C^a \partial^2 C^a + g_s f^{abc} \partial_\mu C^a G^b G_\mu^c + \\
 & \bar{X}^+ (\partial^2 - M^2) X^+ + \bar{X}^- (\partial^2 - M^2) X^- + \bar{X}^0 (\partial^2 - \frac{M^2}{c_w^2}) X^0 + \bar{Y} \partial^2 Y + ig_{cw} W_\mu^+ (\partial_\mu \bar{X}^0 X^- - \\
 & \partial_\mu \bar{X}^+ X^0) + ig_{sw} W_\mu^+ (\partial_\mu \bar{Y} X^- - \partial_\mu \bar{X}^+ Y) + ig_{cw} W_\mu^- (\partial_\mu \bar{X}^- X^0 - \\
 & \partial_\mu \bar{X}^0 X^+) + ig_{sw} W_\mu^- (\partial_\mu \bar{X}^- Y - \partial_\mu \bar{Y} X^+) + ig_{cw} Z_\mu^0 (\partial_\mu \bar{X}^+ X^- + \\
 & \partial_\mu \bar{X}^- X^+) + ig_{sw} A_\mu (\partial_\mu \bar{X}^+ X^- + \\
 & \partial_\mu \bar{X}^- X^+) - \frac{1}{2}igM (\bar{X}^+ X^+ H + \bar{X}^- X^- H + \frac{1}{c_w^2} \bar{X}^0 X^0 H) + \frac{1-2c_w^2}{2c_w} igM (\bar{X}^+ X^0 \phi^+ - \bar{X}^- X^0 \phi^-) + \\
 & \frac{1}{2c_w} igM (\bar{X}^0 X^- \phi^+ - \bar{X}^0 X^+ \phi^-) + igM s_w (\bar{X}^0 X^- \phi^+ - \bar{X}^0 X^+ \phi^-) + \\
 & \frac{1}{2}igM (\bar{X}^+ X^+ \phi^0 - \bar{X}^- X^- \phi^0) .
 \end{aligned}$$

Standartmodeļa vienādojums

- No enerģijas skatu punkta →
- Četri [zināmie] fundamentālie spēki [lauki] reiz bija viens kopējs spēks [lauks]!



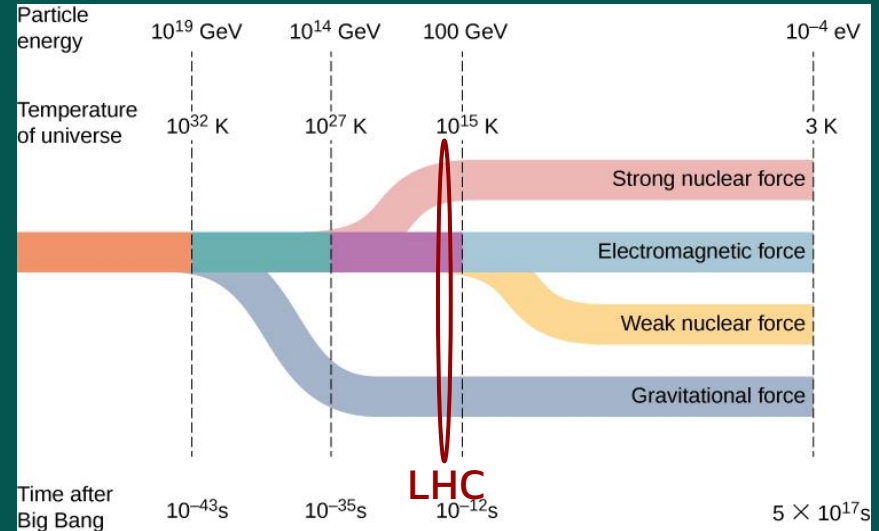
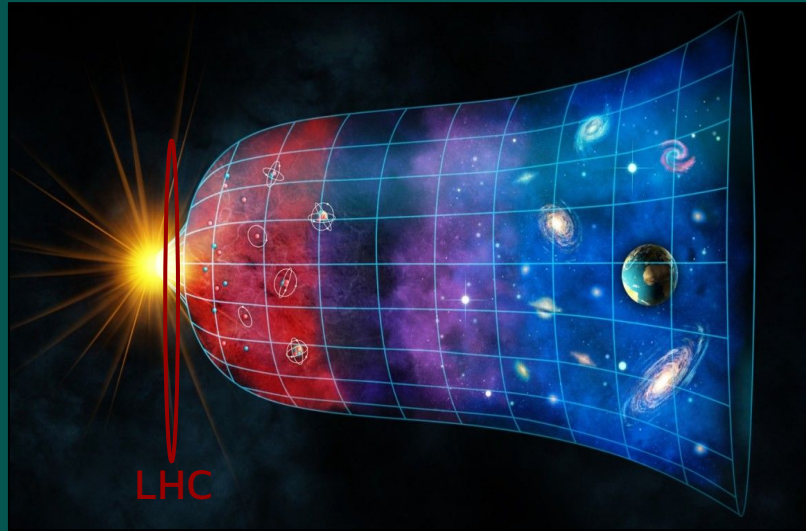
- Atminamies Lielā Sprādziena teoriju:
jo tālāk pagātnē, jo augstāks bija mūsu Visuma *enerģijas režīms*;



- Lielais Hadronu Paātrinātājs (LHC) ir mazu Lielo Sprādzienu radīšanas iekārta!

Augstas enerģijas daļiņu fizika (HEP)

- Atminamies Lielā Sprādziena teoriju:
jo tālāk pagātnē, jo augstāks bija mūsu Visuma *enerģijas režīms*;



- Lielais Hadronu Paātrinātājs (LHC) ir mazu Lielo Sprādzienu radīšanas iekārta!



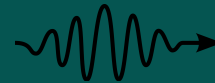
Protons



Neitrons



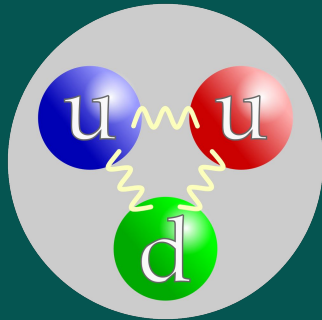
Elektrons



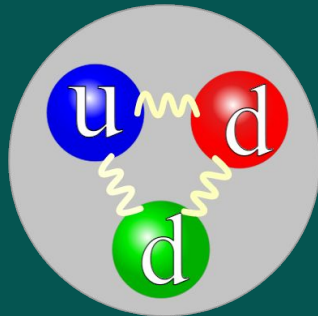
Fotons



Pazīstamās daļiņas (?)



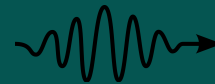
Protons
(uud kvarki)



Neitrons
(udd kvarki)

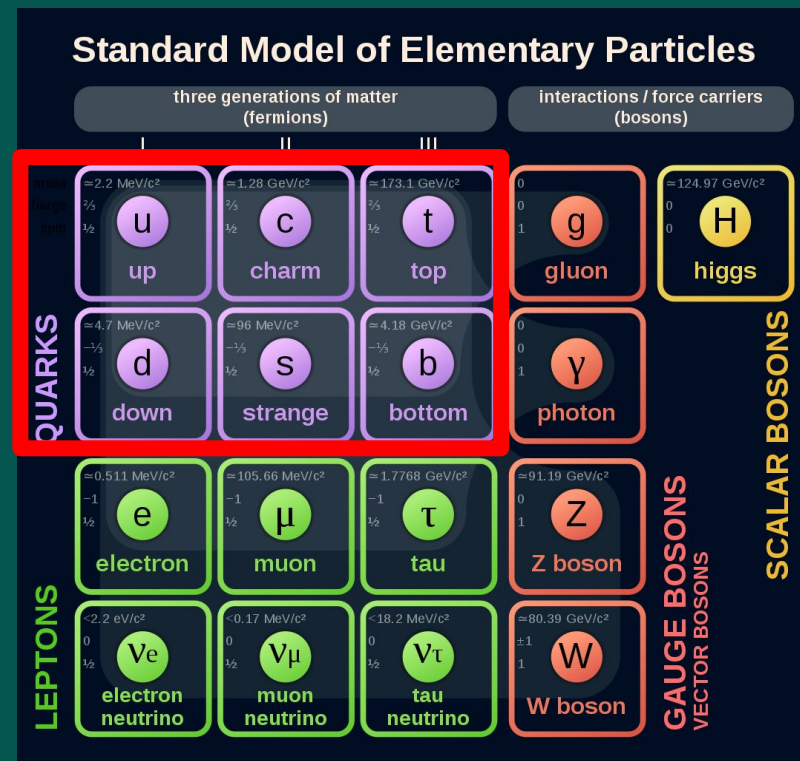


Elektrons

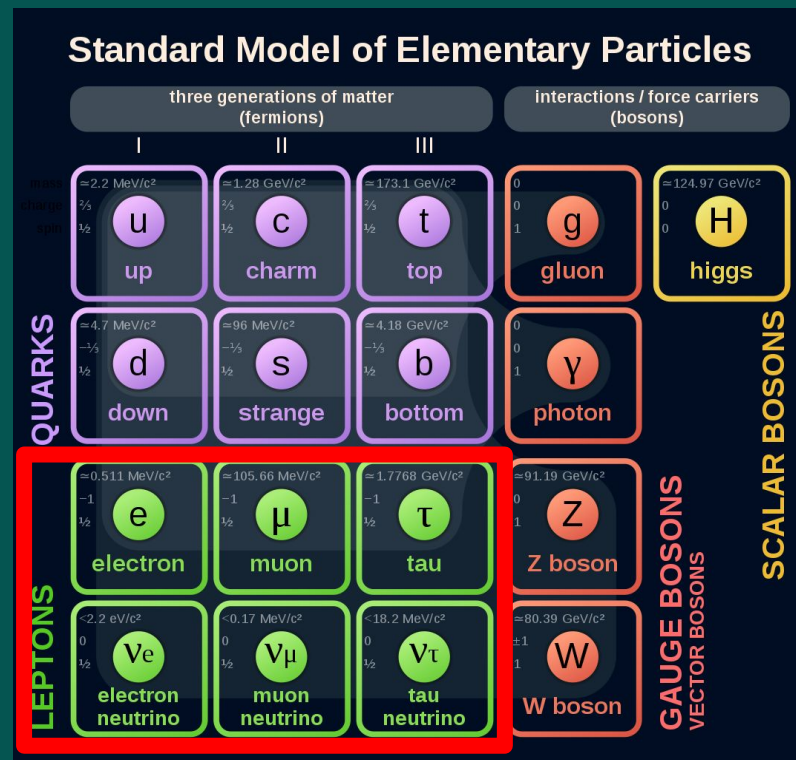


Fotons

- 12 matērijas daļiņas - fermioni:
 - **6 kvarki;**
 - 6 leptoni;
- 4 fund. spēku nesēji - vektora bozoni
 - Fotons (elektromagnētisms);
 - Z, W+/- (nukleārais vājais spēks);
 - Gluons (nukleārais stiprais spēks);
- 1 Higsa lauka nesējs - skalārais bozons:
 - Higsa bozons



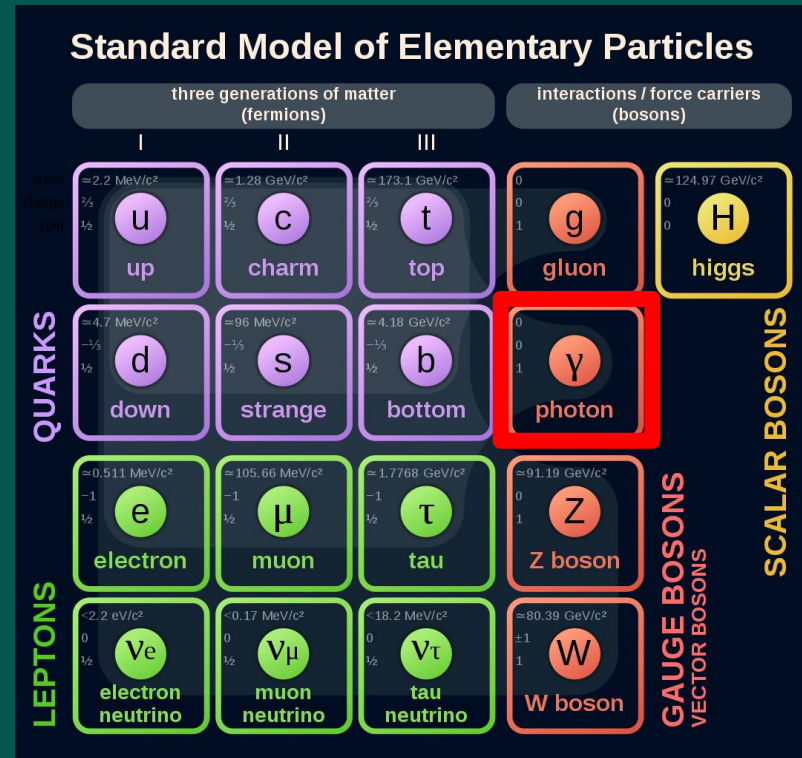
- 12 matērijas daļiņas - fermioni:
 - 6 kvarki;
 - **6 leptoni;**
- 4 fund. spēku nesēji - vektora bozoni
 - Fotons (elektromagnētisms);
 - Z, W+/- (nukleārais vājšais spēks);
 - Gluons (nukleārais stiprais spēks);
- 1 Higsa lauka nesējs - skalārais bozons:
 - Higsa bozons





Standartmodelis

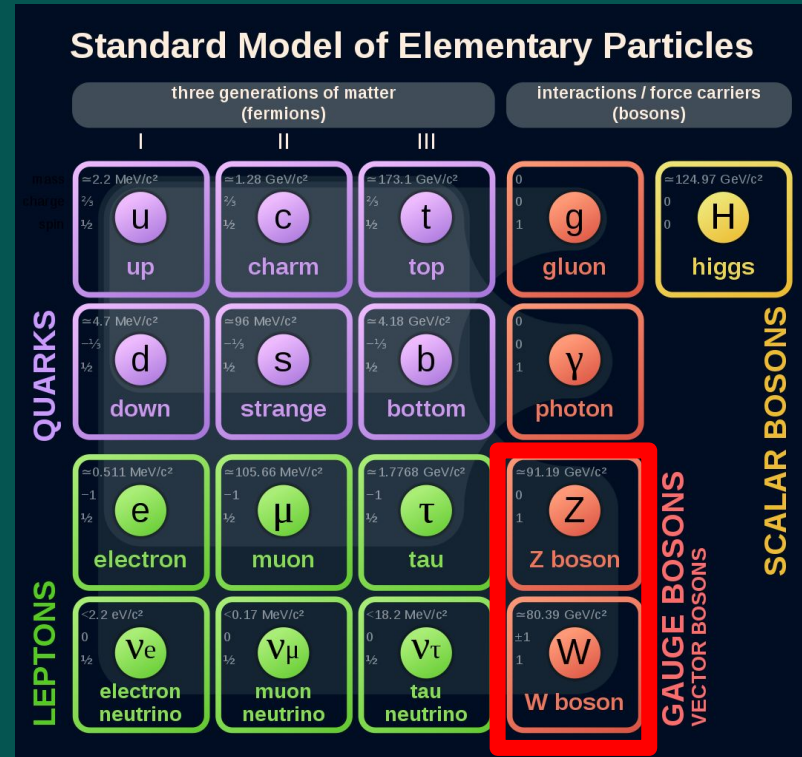
- 12 matērijas daļiņas - fermioni:
 - 6 kvarki;
 - 6 leptoni;
- 4 fund. spēku nesēji - vektora bozoni
 - **Fotons (elektromagnētisms);**
 - Z, W+/- (nukleārais vājšais spēks);
 - Gluons (nukleārais stiprais spēks);
- 1 Higsa lauka nesējs - skalārais bozons:
 - Higsa bozons





Standartmodelis

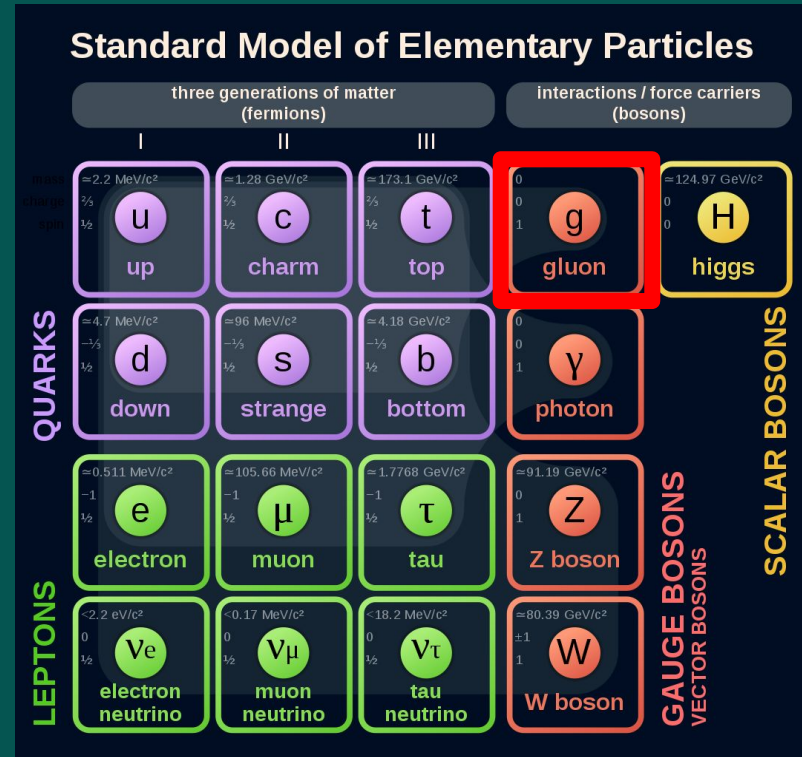
- 12 matērijas daļiņas - fermioni:
 - 6 kvarki;
 - 6 leptoni;
- 4 fund. spēku nesēji - vektora bozoni
 - Fotons (elektromagnētisms);
 - **Z, W+/- (nukleārais vājšais spēks);**
 - Gluons (nukleārais stiprais spēks);
- 1 Higsa lauka nesējs - skalārais bozons:
 - Higsa bozons



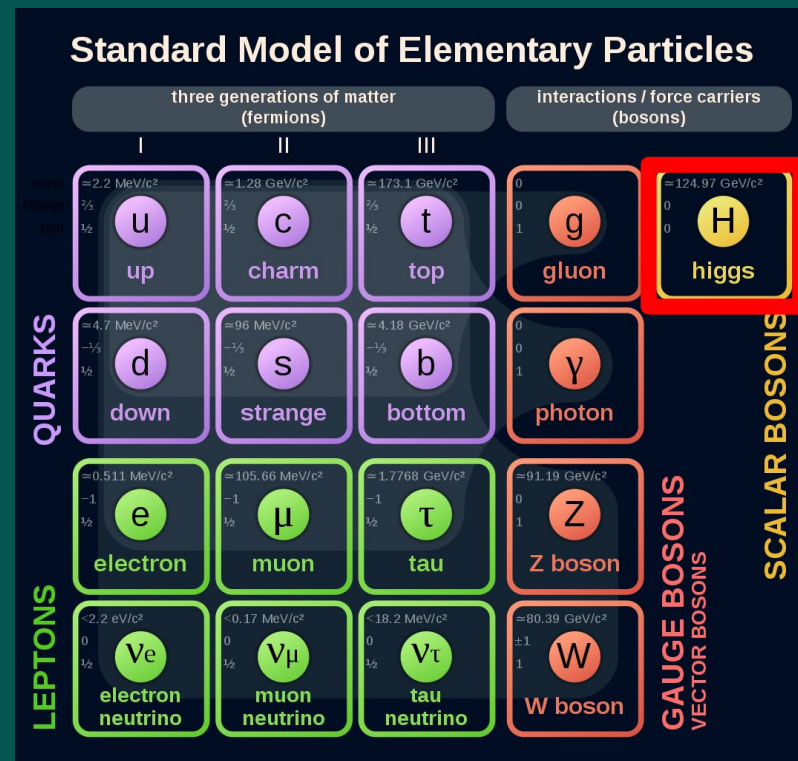


Standartmodelis

- 12 matērijas daļiņas - fermioni:
 - 6 kvarki;
 - 6 leptoni;
- 4 fund. spēku nesēji - vektora bozoni
 - Fotons (elektromagnētisms);
 - Z, W+/- (nukleārais vājais spēks);
 - **Gluons (nukleārais stiprais spēks);**
- 1 Higsa lauka nesējs - skalārais bozons:
 - Higsa bozons



- 12 matērijas daļiņas - fermioni:
 - 6 kvarki;
 - 6 leptoni;
- 4 fund. spēku nesēji - vektora bozoni
 - Fotons (elektromagnētisms);
 - Z, W+/- (vājais kodolspēks);
 - Gluons (stiprais kodolspēks);
- 1 Higsa lauka nesējs - skalārais bozons:
 - **Higsa bozons**

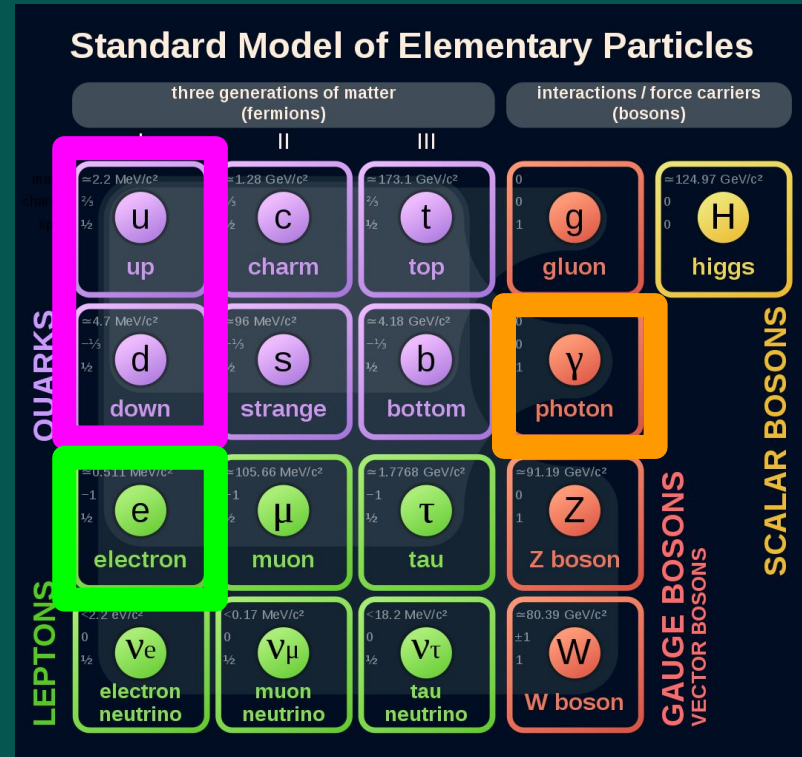




Standartmodelis

- No šīm daļiņām *ikdienas* enerģijas režīmā sastopam tikai četras iepriekš minētās:

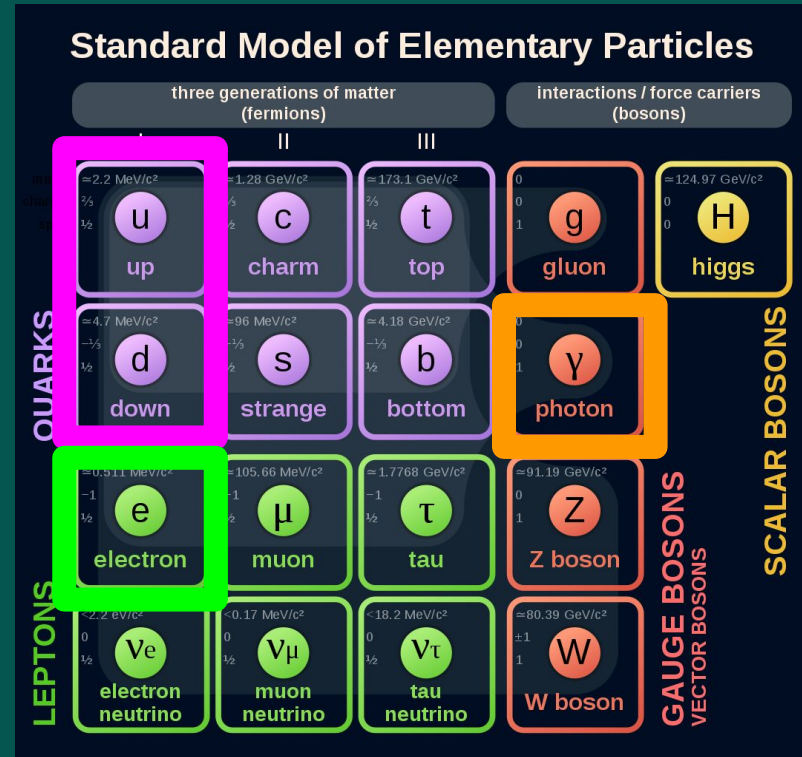
- **u un d kvarki;**
- **elektrons;**
- **fotons;**





Standartmodelis

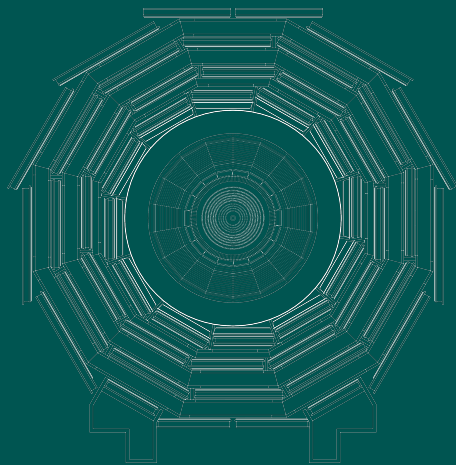
- No šīm daļiņām *ikdienas* enerģijas režīmā sastopam tikai četras minētās:
 - u un d kvarki;
 - elektrons;
 - fotons;
- Kāpēc eksistē divas *papildus* matērijas daļiņu paudzes?
- Kāpēc šo daļiņu masa ir tāda kāda tā ir?





- SM ir visveiksmīgākā teorija zinātnes vēsturē!
- Piemēram, SM paredzētā elektrona magnētiskā dipola momenta vērtība sakrīt ar eksperimentāli izmērīto ar precizitāti, kas pielīdzināma cilvēka mata platuma kļūdai mērot attālumu starp Zemi un Mēnesi!
- Taču SM ir nepilnīgs un joprojām pastāv daudzi neatbildēti jautājumi:
 - Vai gravitācija un vispārējā relativitāte ir savienojama ar SM?
 - Kas ir tumšā matērija, kas ir tumšā enerģija?
 - Kāpēc matērijas ir vairāk kā anti-matērijas?

un daudzi, daudzi citi!



Paldies!

Jautājumi? Droši!



- Vidusskolēniem CERN piedāvā dažādus izglītojošus pasākumus un seminārus S'cool Lab projekta ietvaros: <https://scoollab.web.cern.ch/>;
- Bakalaura un maģistra studentiem, apmaksātas darba pieredzes un pētniecības programmas (<https://careers.cern/students>):
 - Tehnisko studentu programma (galvenokārt inženierzinātnes);
 - Vasaras studentu programma (galvenokārt fizika);
 - CERN openlab Online Summer Student Programme (galvenokārt IT);
 - Internu programma;
 - Administratīvo studentu programma;
- Doktora līmeņa studentiem, labi apmaksāta [CERN doktorantūras programma](#) (fokuss uz lietišķajām un inženierzinātnēm);



- CERN [normāli] ir atvērts gan privātām, gan organizētām grupu vizītēm!
- Long-Shutdown (LS) laikos iespējams arī apmeklēt LHC eksperimentu kavernas!



- RTU organizē arī Ēnu dienas @ CERN!



- Kopš 2021./22. mācību gada RTU un LU tiek īstenota kopīga doktorantūras programma: “Daļiņu fizika un paātrinātāju tehnoloģijas”;
- Mēs ceram jau pavisam drīz (circa 2025) izveidot arī ekvivalentu maģistrantūras programmu!
- Izvēloties studēt fiziku vai inženierzinātnes LU un RTU jums būs iespējams veidot karjeru tā, lai paliekt strādāt Latvijas pētniecības institūtos, jūs varētu nonākt CERN.

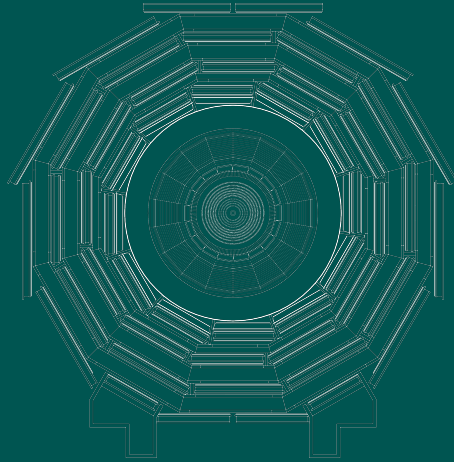


- Šobrīd RTU ir līderis Latvijas dalībā CERN eksperimentos un projektos;
- RTU Augstas enerģijas fizikas un paātrinātāju tehnoloģiju centrs ir koordinējošā institūcija visām RTU un LU zinātniskajām aktivitātēm @ CERN;



Augstas enerģijas daļiņu fizikas un
paātrinātāju tehnoloģiju centrs

Informāciju un kontaktus varat meklēt <https://www.rtu.lv/lv/aef/kontakti-aef/>!



Paldies!