



63-я
Всероссийская
научная
конференция
МФТИ

at LHC, CERN
Mon May 28 01:16:20 2012 CEST
099 35438125
16992111 2295



В ОЖИДАНИИ ОТКРЫТИЙ В ФИЗИКЕ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ (В МИРЕ И С УЧАСТИЕМ ОИЯИ)

Д.И.Казаков

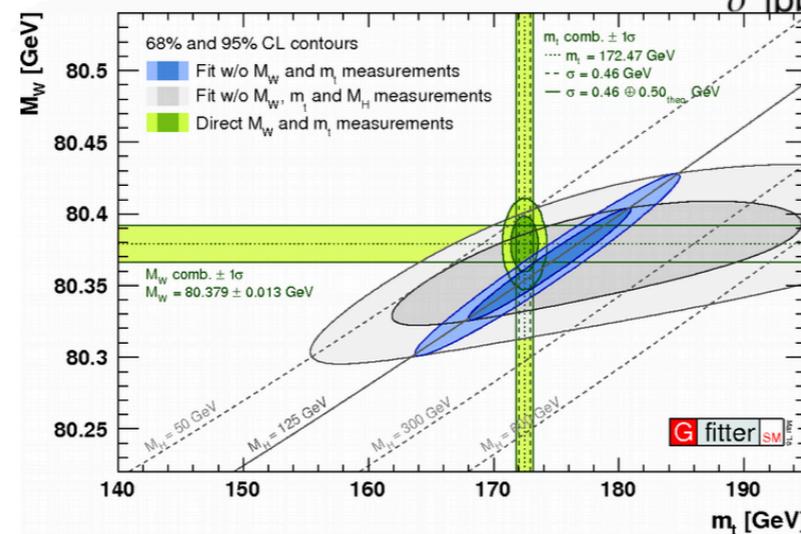
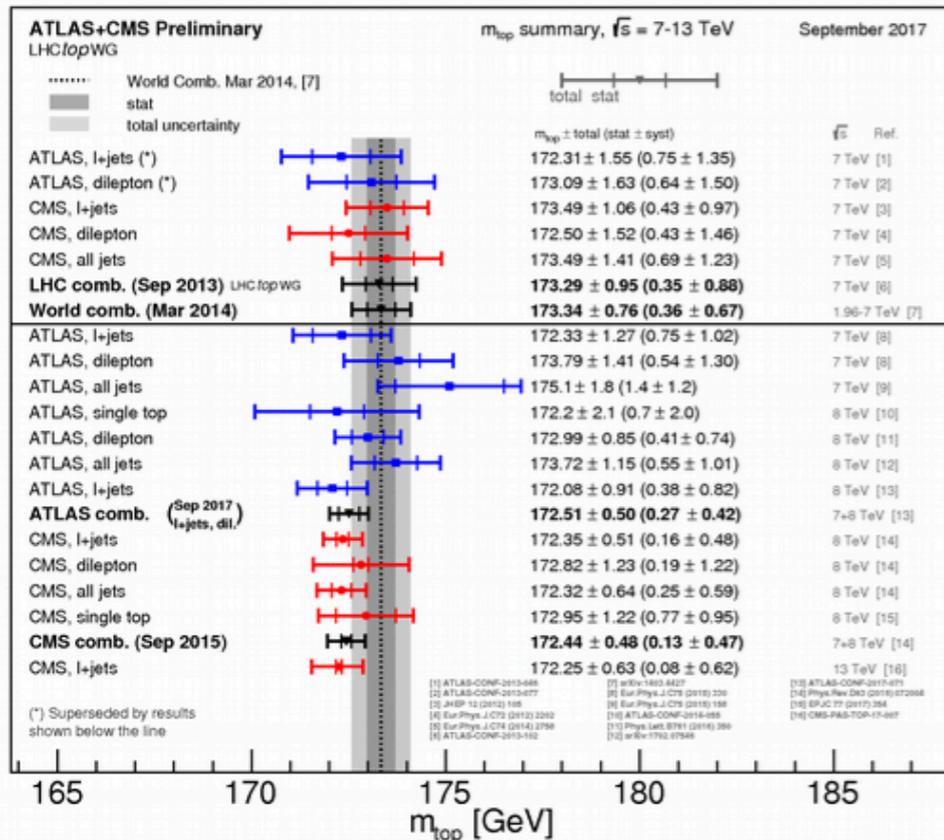
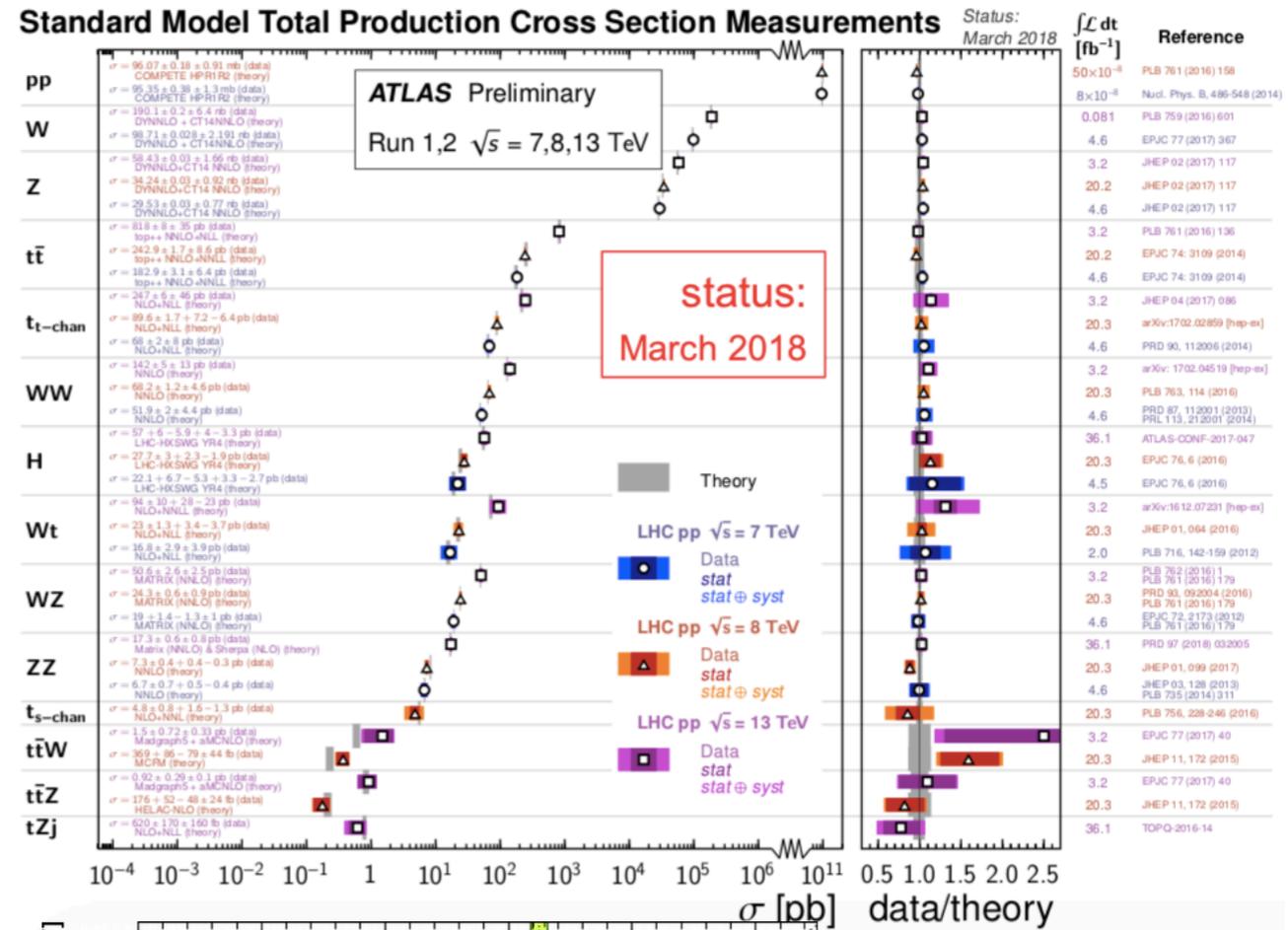
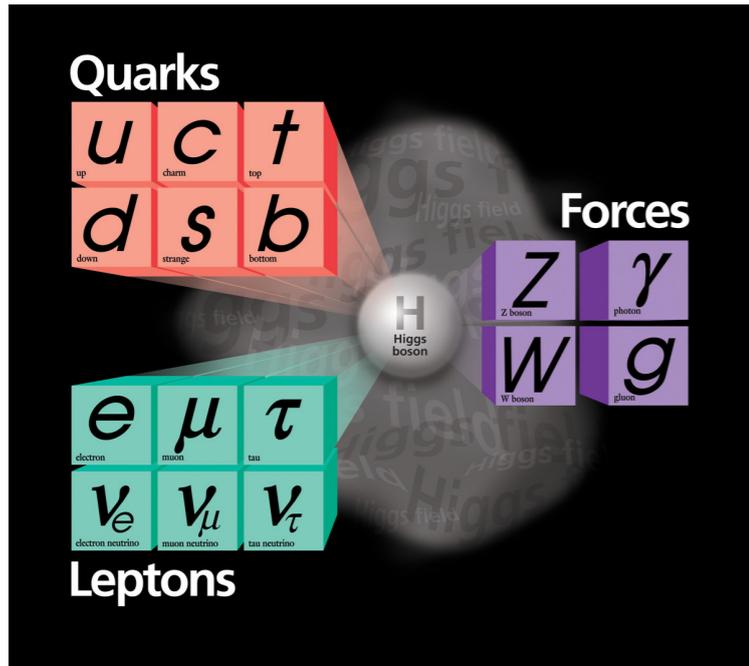
Лаборатория теоретической физики им. Н.Н.Боголюбова

Объединённый Институт Ядерных Исследований

Кафедра фундаментальных и прикладных проблем
физики микромира

*Raw $\Sigma E_T \sim 2$ TeV
14 jets with E_T
Estimated $PU \sim 50$*

Стандартная модель



Замечательное согласие между измерениями и предсказаниями Стандартной модели



- С открытием хиггсовского бозона Стандартная модель получила завершение!
- Почему мы не удовлетворены и думаем, что существует новая физика и открытия впереди?



- С открытием хиггсовского бозона Стандартная модель получила завершение!
- Почему мы не удовлетворены и думаем, что существует новая физика и открытия впереди?



- Существуют концептуальные проблемы которые требуют критического взгляда вне СМ
- Существуют небольшие нестыковки которые могут вырасти и превратиться в проблему для СМ
- Трудно поверить что погоня за тайнами Природы окончена

ЛАГРАНЖИАН

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_{gauge} + \mathcal{L}_{Yukawa} + \mathcal{L}_{Higgs},$$

$$\mathcal{L}_{gauge} = -\frac{1}{4}G_{\mu\nu}^a G_{\mu\nu}^a - \frac{1}{4}W_{\mu\nu}^i W_{\mu\nu}^i - \frac{1}{4}B_{\mu\nu} B_{\mu\nu}$$

$$+ i\bar{L}_\alpha \gamma^\mu D_\mu L_\alpha + i\bar{Q}_\alpha \gamma^\mu D_\mu Q_\alpha + i\bar{E}_\alpha \gamma^\mu D_\mu E_\alpha$$

$$+ i\bar{U}_\alpha \gamma^\mu D_\mu U_\alpha + i\bar{D}_\alpha \gamma^\mu D_\mu D_\alpha + (D_\mu H)^\dagger (D_\mu H),$$

$$+ i\bar{N}_\alpha \gamma^\mu \partial_\mu N_\alpha$$

← возможно правое нейтино?

$$\mathcal{L}_{Yukawa} = y_{\alpha\beta}^L \bar{L}_\alpha E_\beta H + y_{\alpha\beta}^D \bar{Q}_\alpha D_\beta H + y_{\alpha\beta}^U \bar{Q}_\alpha U_\beta \tilde{H} + h.c.,$$

$$+ y_{\alpha\beta}^N \bar{L}_\alpha N_\beta \tilde{H}$$

$$\mathcal{L}_{Higgs} = -V = m^2 H^\dagger H - \frac{\lambda}{2} (H^\dagger H)^2$$

ЛАГРАНЖИАН

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_{gauge} + \mathcal{L}$$

$$\mathcal{L}_{gauge} = -\frac{1}{4}G_{\mu\nu}^c G_{\mu\nu}^c$$

$$+ i\bar{L}_\alpha \gamma^\mu D_\mu L_\alpha$$

$$+ i\bar{U}_\alpha \gamma^\mu D_\mu U_\alpha +$$

$$+ i\bar{N}_\alpha \gamma^\mu \partial_\mu N_\alpha \quad \leftarrow$$

$$\mathcal{L}_{Yukawa} = y_{\alpha\beta}^L \bar{L}_\alpha E_\beta H$$

$$+ y_{\alpha\beta}^N \bar{L}_\alpha \Lambda_\beta$$

$$\mathcal{L}_{Higgs} = -V =$$

$$\begin{aligned} \mathcal{L}_{SM} = & -\frac{1}{2}\partial_\nu g_\mu^a \partial_\nu g_\mu^a - g_s f^{abc} \partial_\mu g_\nu^a g_\mu^b g_\nu^c - \frac{1}{4}g_s^2 f^{abc} f^{ade} g_\mu^b g_\nu^c g_\mu^d g_\nu^e - \partial_\nu W_\mu^+ \partial_\nu W_\mu^- - \\ & M^2 W_\mu^+ W_\mu^- - \frac{1}{2}\partial_\nu Z_\mu^0 \partial_\nu Z_\mu^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 - igc_w (\partial_\nu Z_\mu^0 (W_\mu^+ W_\nu^- - \\ & W_\nu^+ W_\mu^-) - Z_\nu^0 (W_\mu^+ \partial_\nu W_\mu^- - W_\mu^- \partial_\nu W_\mu^+) + Z_\mu^0 (W_\nu^+ \partial_\nu W_\mu^- - W_\nu^- \partial_\nu W_\mu^+)) - \\ & ig s_w (\partial_\nu A_\mu (W_\mu^+ W_\nu^- - W_\nu^+ W_\mu^-) - A_\nu (W_\mu^+ \partial_\nu W_\mu^- - W_\mu^- \partial_\nu W_\mu^+) + A_\mu (W_\nu^+ \partial_\nu W_\mu^- - \\ & W_\nu^- \partial_\nu W_\mu^+)) - \frac{1}{2}g^2 W_\mu^+ W_\mu^- W_\nu^+ W_\nu^- + \frac{1}{2}g^2 W_\mu^+ W_\nu^- W_\mu^- W_\nu^+ + g^2 c_w^2 (Z_\mu^0 W_\mu^+ Z_\nu^0 W_\nu^- - \\ & Z_\mu^0 Z_\nu^0 W_\mu^+ W_\nu^-) + g^2 s_w^2 (A_\mu W_\mu^+ A_\nu W_\nu^- - A_\mu A_\nu W_\mu^+ W_\nu^-) + g^2 s_w c_w (A_\mu Z_\nu^0 (W_\mu^+ W_\nu^- - \\ & W_\nu^+ W_\mu^-) - 2A_\mu Z_\mu^0 W_\nu^+ W_\nu^-) - \frac{1}{2}\partial_\mu H \partial_\mu 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^4}{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_\mu^- H - \frac{1}{2}g \frac{M}{c_w^2} Z_\mu^0 Z_\mu^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{1}{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{s_w^2}{c_w} M Z_\mu^0 (W_\mu^+ \phi^- - W_\mu^- \phi^+) + ig s_w 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 s_w A_\mu (\phi^+ \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu \phi^+) - \\ & \frac{1}{4}g^2 W_\mu^+ W_\mu^- (H^2 + (\phi^0)^2 + 2\phi^+ \phi^-) - \frac{1}{8}g^2 \frac{1}{c_w^2} Z_\mu^0 Z_\mu^0 (H^2 + (\phi^0)^2 + 2(2s_w^2 - 1)^2 \phi^+ \phi^-) - \\ & \frac{1}{2}g^2 \frac{s_w^2}{c_w} Z_\mu^0 \phi^0 (W_\mu^+ \phi^- + W_\mu^- \phi^+) - \frac{1}{2}ig^2 \frac{s_w^2}{c_w} Z_\mu^0 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{s_w}{c_w} (2c_w^2 - 1) Z_\mu^0 A_\mu \phi^+ \phi^- - \\ & g^2 s_w^2 A_\mu A_\mu \phi^+ \phi^- + \frac{1}{2}ig_s \lambda_{ij}^a (\bar{q}_i^\sigma \gamma^\mu q_j^\sigma) 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 s_w 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}{4c_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) U^{lep}{}_{\lambda\kappa} e^\kappa) + (\bar{u}_j^\lambda \gamma^\mu (1 + \gamma^5) C_{\lambda\kappa} d_j^\kappa)) + \\ & \frac{ig}{2\sqrt{2}} W_\mu^- ((\bar{e}^\kappa U^{lep}{}_{\kappa\lambda}^\dagger \gamma^\mu (1 + \gamma^5) \nu^\lambda) + (\bar{d}_j^\kappa C_{\kappa\lambda}^\dagger \gamma^\mu (1 + \gamma^5) u_j^\lambda)) + \\ & \frac{ig}{2M\sqrt{2}} \phi^+ (-m_e^\kappa (\bar{\nu}^\lambda U^{lep}{}_{\lambda\kappa} (1 - \gamma^5) e^\kappa) + m_\nu^\lambda (\bar{\nu}^\lambda U^{lep}{}_{\lambda\kappa} (1 + \gamma^5) e^\kappa) + \\ & \frac{ig}{2M\sqrt{2}} \phi^- (m_e^\lambda (\bar{e}^\lambda U^{lep}{}_{\lambda\kappa}^\dagger (1 + \gamma^5) \nu^\kappa) - m_\nu^\kappa (\bar{e}^\lambda U^{lep}{}_{\lambda\kappa}^\dagger (1 - \gamma^5) \nu^\kappa) - \frac{g}{2} \frac{m_\nu^\lambda}{M} H (\bar{\nu}^\lambda \nu^\lambda) - \\ & \frac{g}{2} \frac{m_e^\lambda}{M} H (\bar{e}^\lambda e^\lambda) + \frac{ig}{2} \frac{m_\nu^\lambda}{M} \phi^0 (\bar{\nu}^\lambda \gamma^5 \nu^\lambda) - \frac{ig}{2} \frac{m_e^\lambda}{M} \phi^0 (\bar{e}^\lambda \gamma^5 e^\lambda) - \frac{1}{4} \bar{\nu}_\lambda M_{\lambda\kappa}^R (1 - \gamma_5) \hat{\nu}_\kappa - \\ & \frac{1}{4} \bar{\nu}_\lambda M_{\lambda\kappa}^R (1 - \gamma_5) \hat{\nu}_\kappa + \frac{ig}{2M\sqrt{2}} \phi^+ (-m_d^\kappa (\bar{u}_j^\lambda C_{\lambda\kappa} (1 - \gamma^5) d_j^\kappa) + m_u^\lambda (\bar{u}_j^\lambda C_{\lambda\kappa} (1 + \gamma^5) d_j^\kappa) + \\ & \frac{ig}{2M\sqrt{2}} \phi^- (m_d^\lambda (\bar{d}_j^\lambda C_{\lambda\kappa}^\dagger (1 + \gamma^5) u_j^\kappa) - m_u^\kappa (\bar{d}_j^\lambda C_{\lambda\kappa}^\dagger (1 - \gamma^5) u_j^\kappa) - \frac{g}{2} \frac{m_u^\lambda}{M} H (\bar{u}_j^\lambda u_j^\lambda) - \\ & \frac{g}{2} \frac{m_d^\lambda}{M} H (\bar{d}_j^\lambda d_j^\lambda) + \frac{ig}{2} \frac{m_\nu^\lambda}{M} \phi^0 (\bar{u}_j^\lambda \gamma^5 u_j^\lambda) - \frac{ig}{2} \frac{m_d^\lambda}{M} \phi^0 (\bar{d}_j^\lambda \gamma^5 d_j^\lambda) + \bar{G}^a \partial^2 G^a + g_s f^{abc} \partial_\mu \bar{G}^a G_\mu^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 + igc_w W_\mu^+ (\partial_\mu \bar{X}^0 X^- - \\ & \partial_\mu \bar{X}^+ X^0) + ig s_w W_\mu^+ (\partial_\mu \bar{Y} X^- - \partial_\mu \bar{X}^+ Y) + igc_w W_\mu^- (\partial_\mu \bar{X}^- X^0 - \\ & \partial_\mu \bar{X}^0 X^+) + ig s_w W_\mu^- (\partial_\mu \bar{X}^- Y - \partial_\mu \bar{Y} X^+) + igc_w Z_\mu^0 (\partial_\mu \bar{X}^+ X^+ - \\ & \partial_\mu \bar{X}^- X^-) + ig s_w A_\mu (\partial_\mu \bar{X}^+ X^+ - \\ & \partial_\mu \bar{X}^- X^-) - \frac{1}{2}gM (\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}$$

Стандартная модель Фундаментальных Взаимодействий



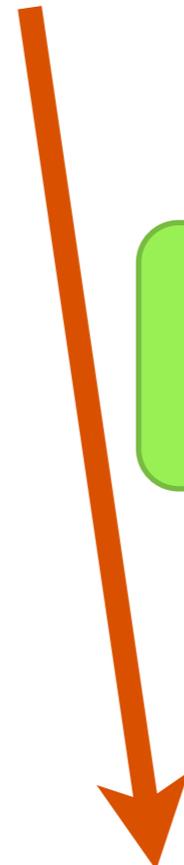
Хиггсовский
сектор



Нейтринный
сектор



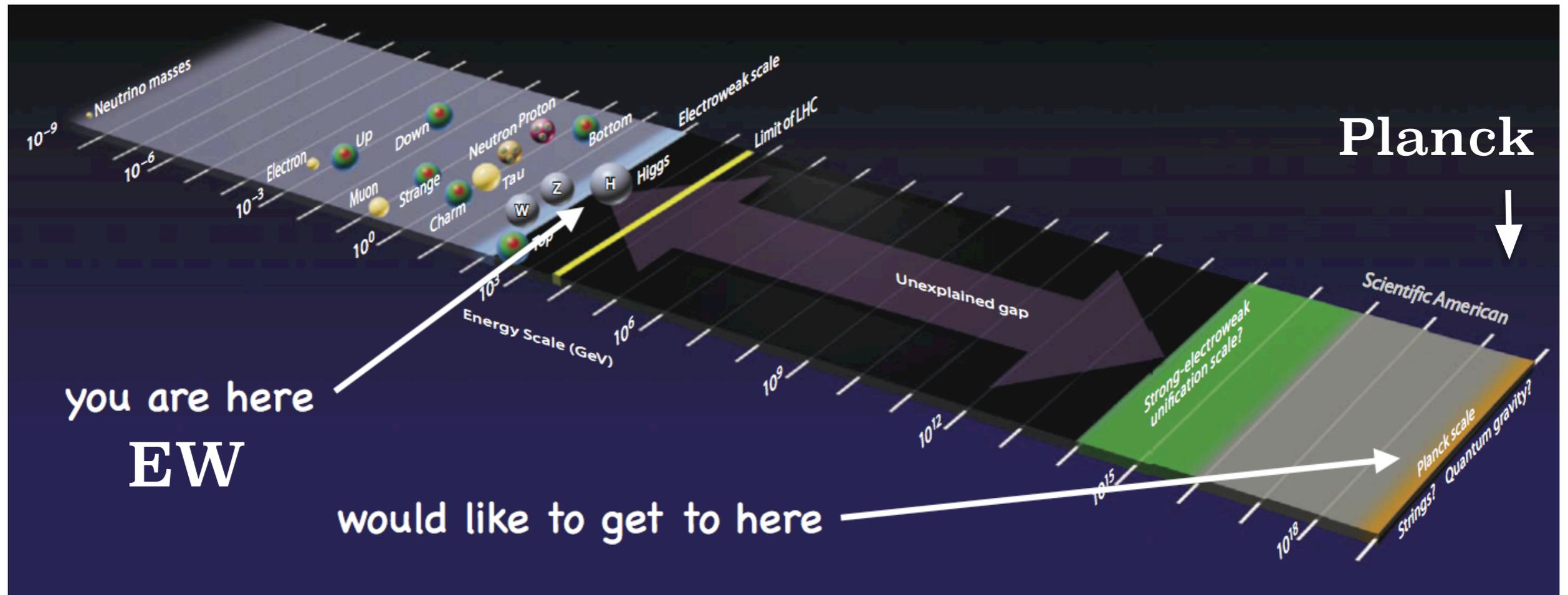
Сектор
ароматов



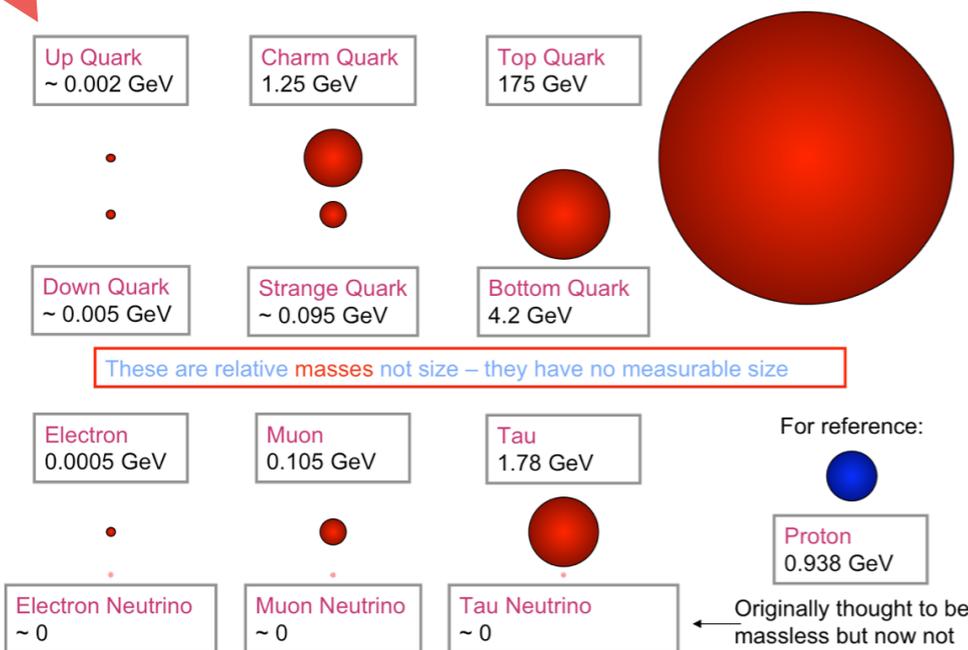
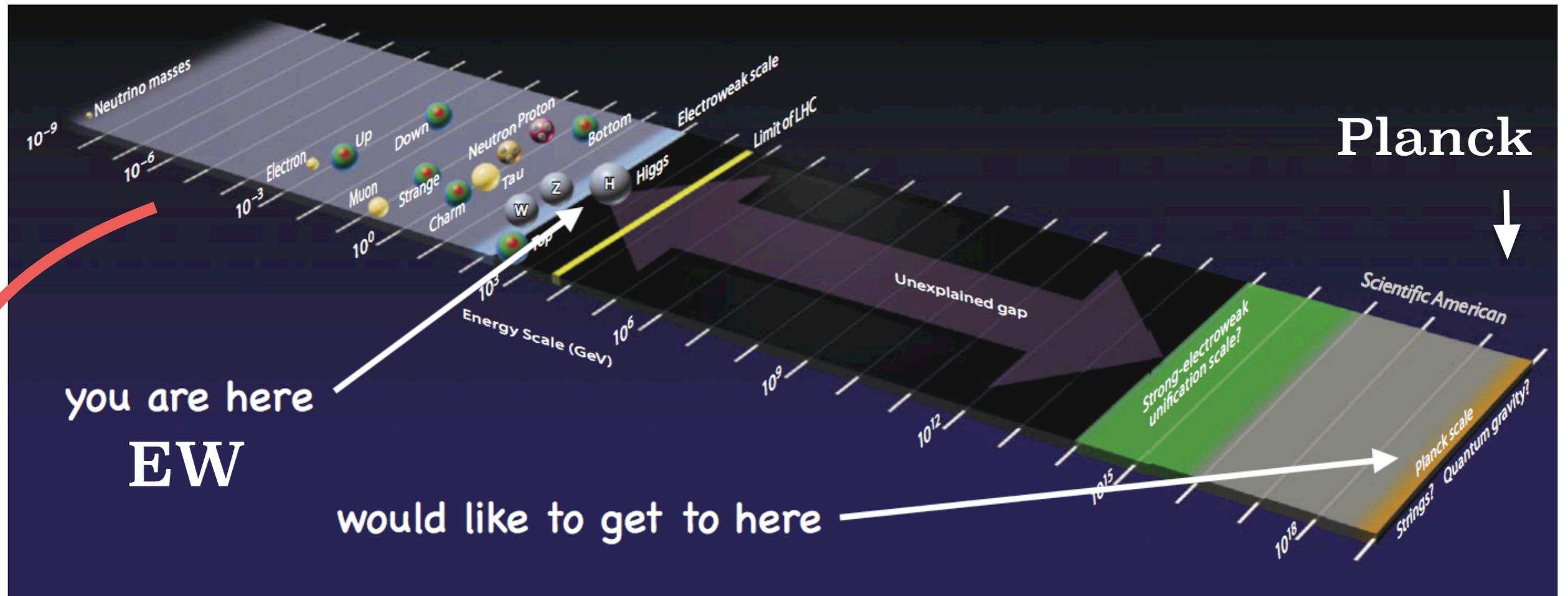
Тёмная
материя

Новые частицы и взаимодействия

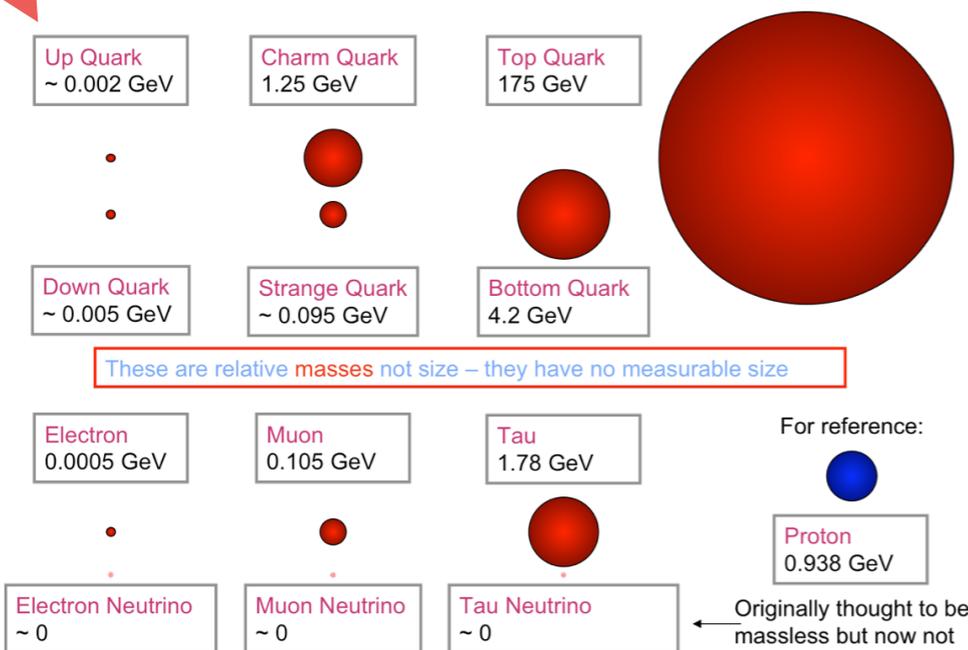
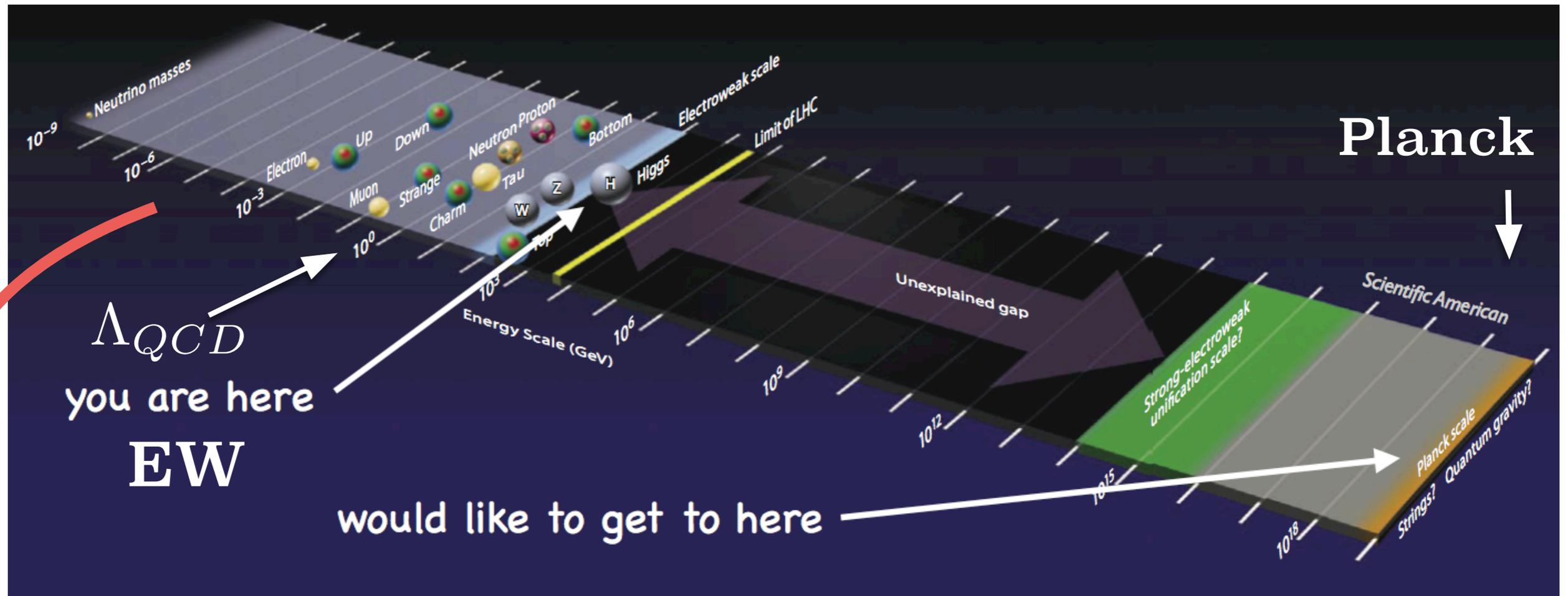
Существует ли другая шкала энергий помимо электро-слабой и планковской?



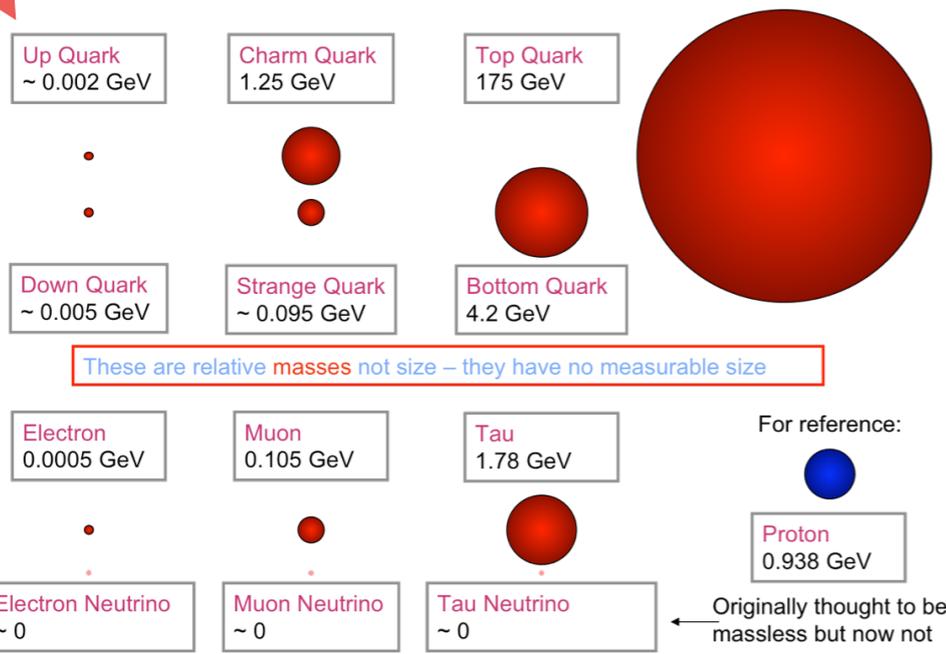
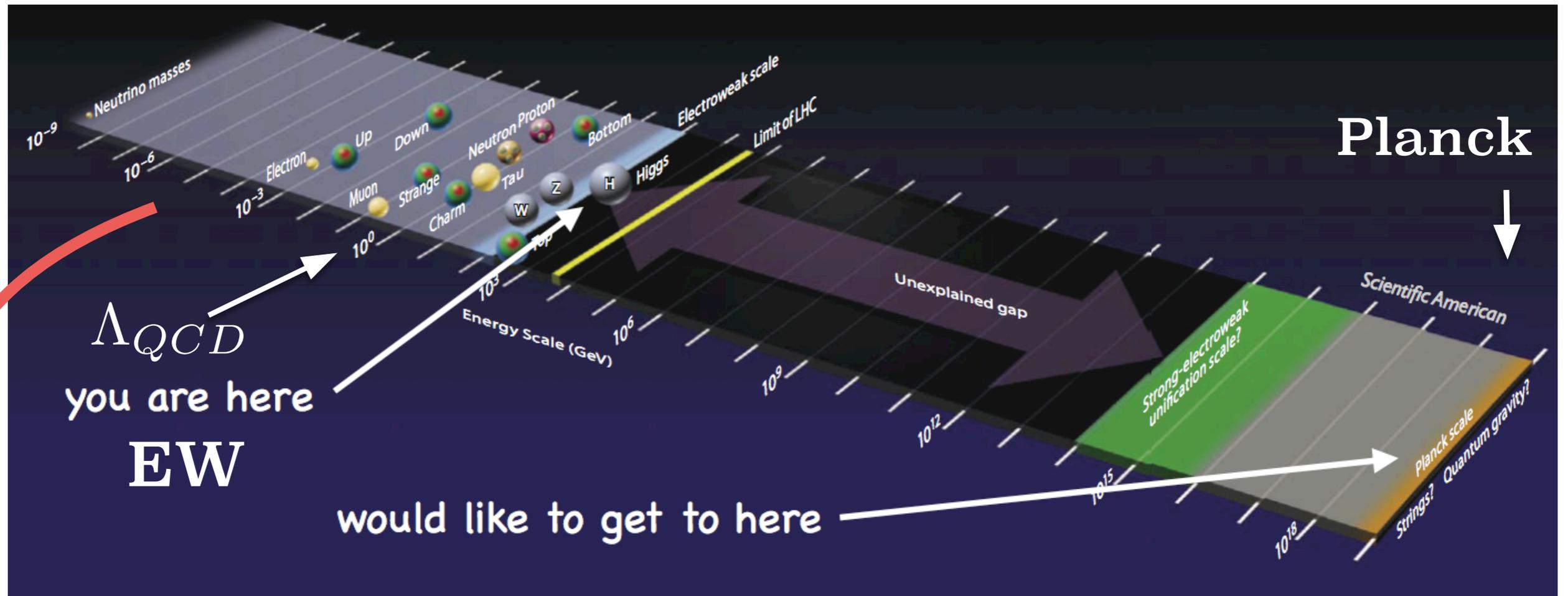
Существует ли другая шкала энергий помимо электро-слабой и планковской?



Существует ли другая шкала энергий помимо электро-слабой и планковской?

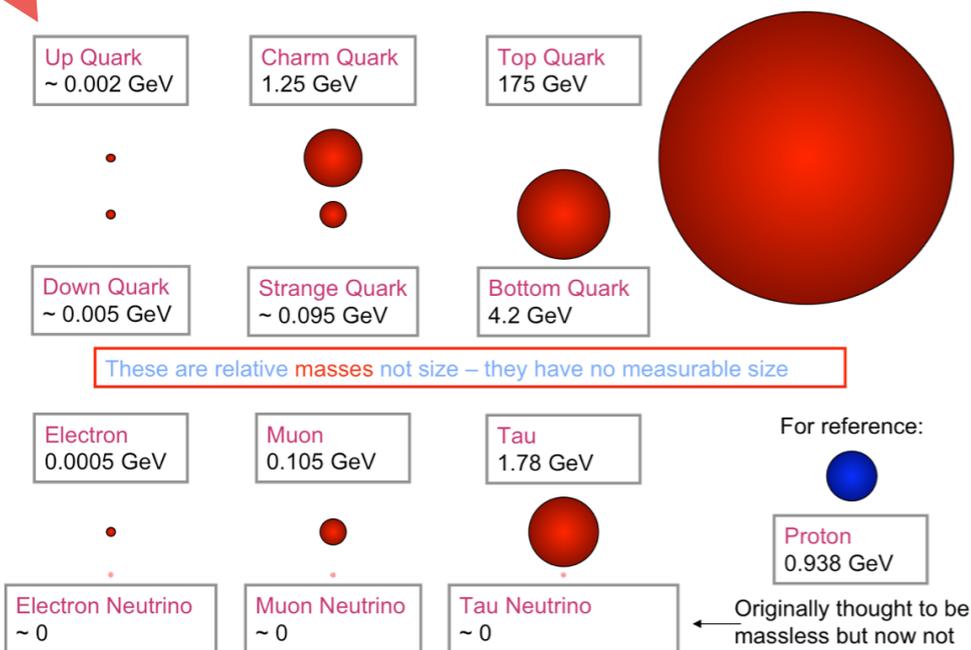
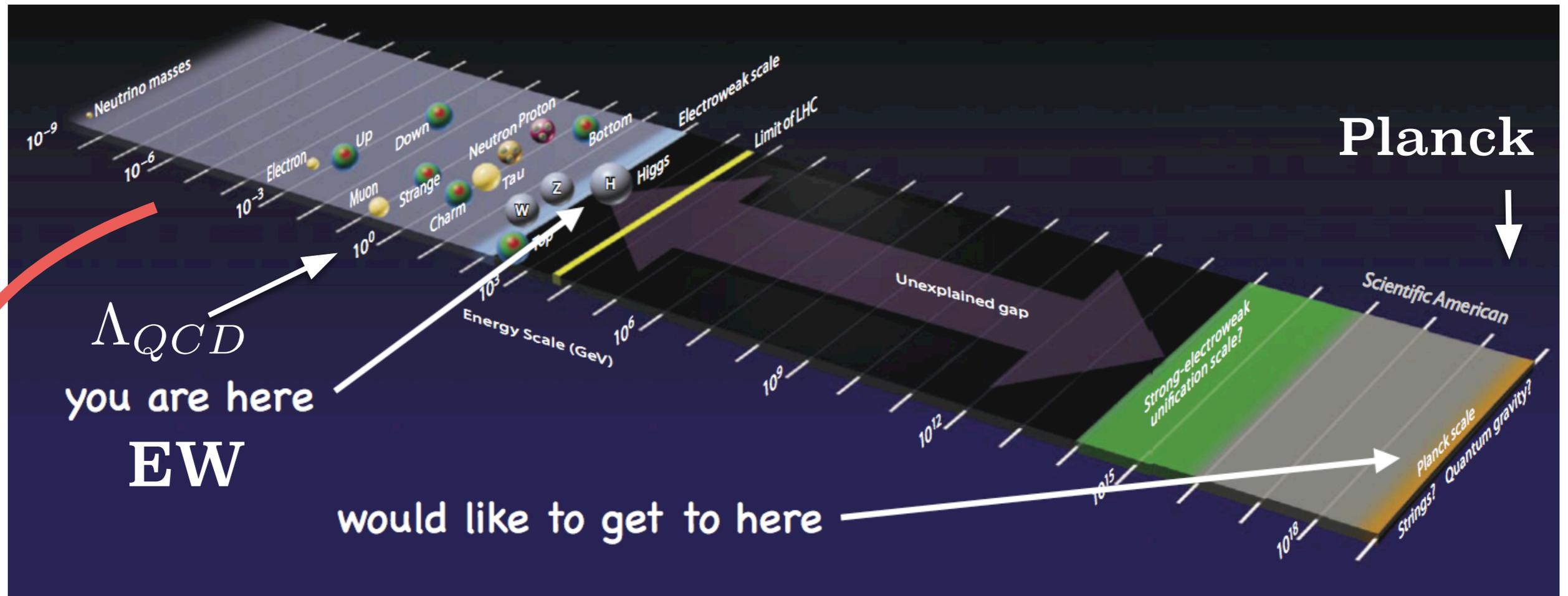


Существует ли другая шкала энергий помимо электро-слабой и планковской?



Планковская шкала ~ 10¹⁹ GeV

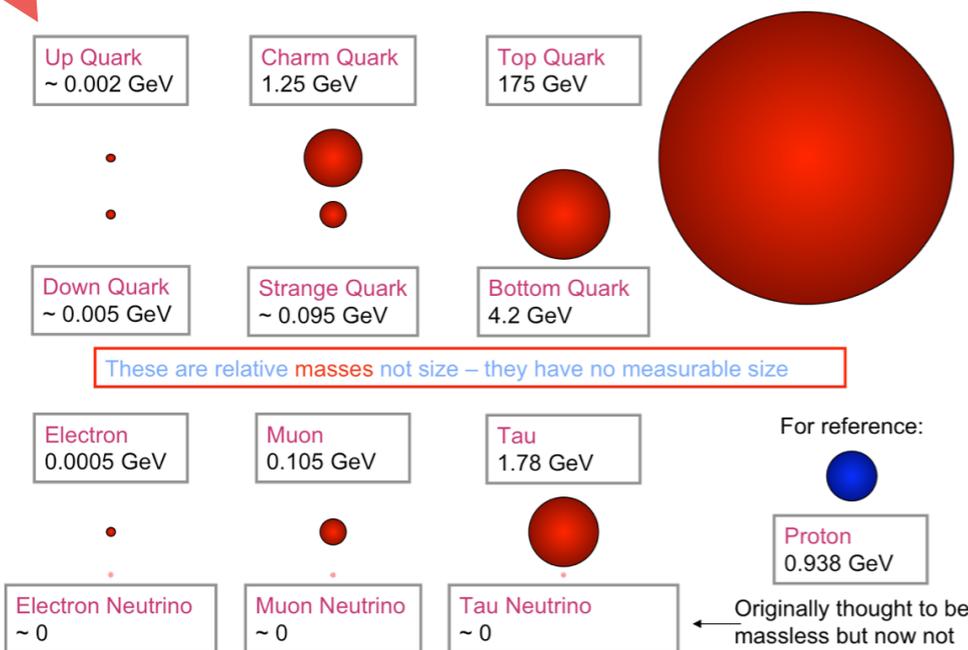
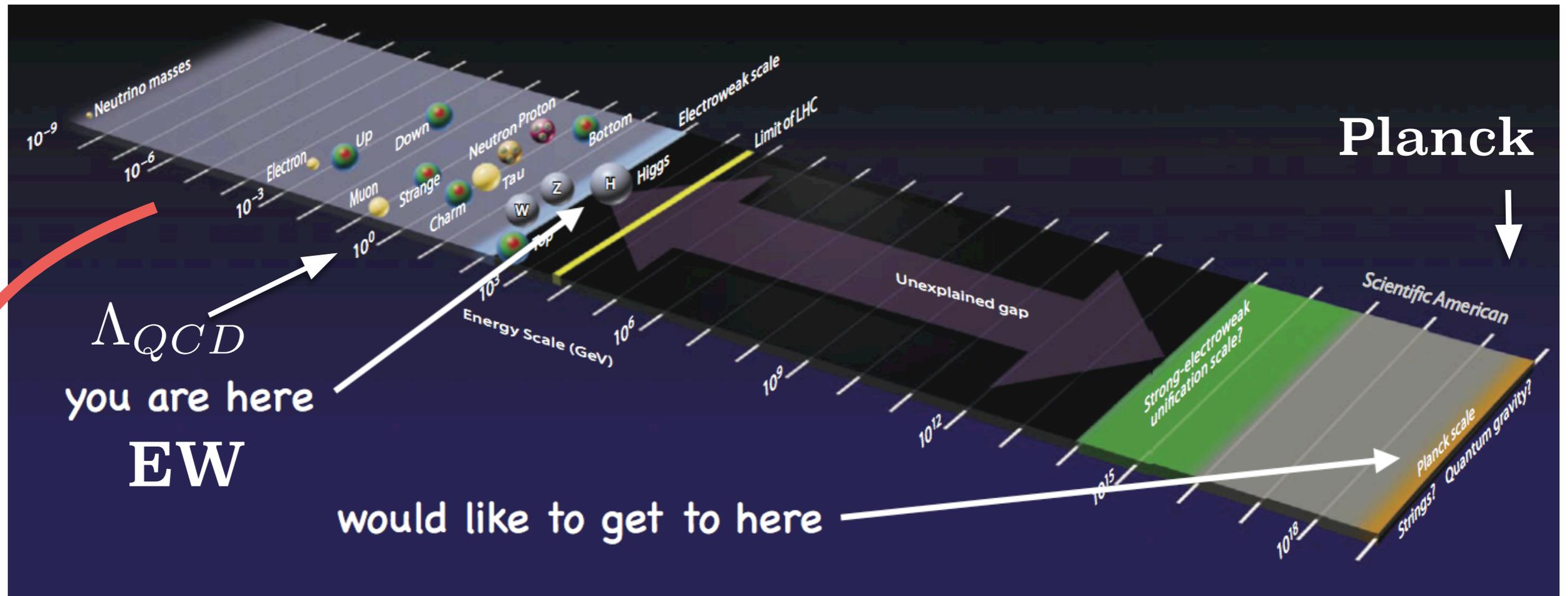
Существует ли другая шкала энергий помимо электро-слабой и планковской?



Струнная шкала ~ 10^{18} GeV

Планковская шкала ~ 10^{19} GeV

Существует ли другая шкала энергий помимо электро-слабой и планковской?

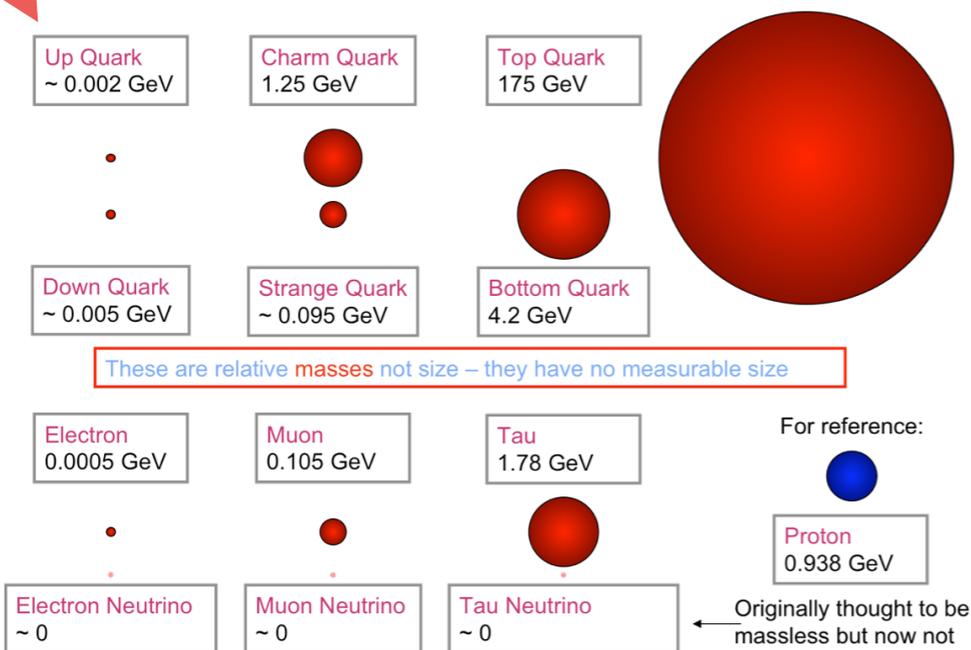
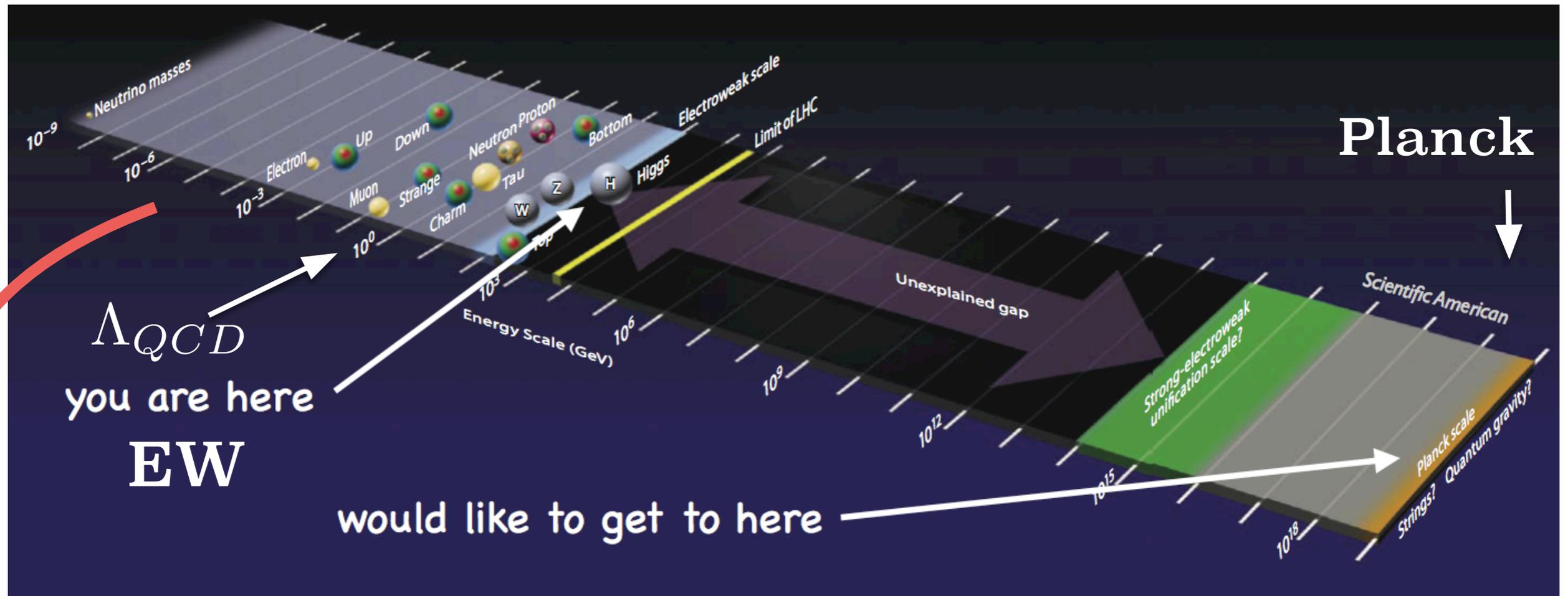


Шкала ТВО $\sim 10^{16}$ GeV

Струнная шкала $\sim 10^{18}$ GeV

Планковская шкала $\sim 10^{19}$ GeV

Существует ли другая шкала энергий помимо электро-слабой и планковской?



↑

Майорановская шкала ~ 10^{12} GeV

↑

Шкала ТВО ~ 10^{16} GeV

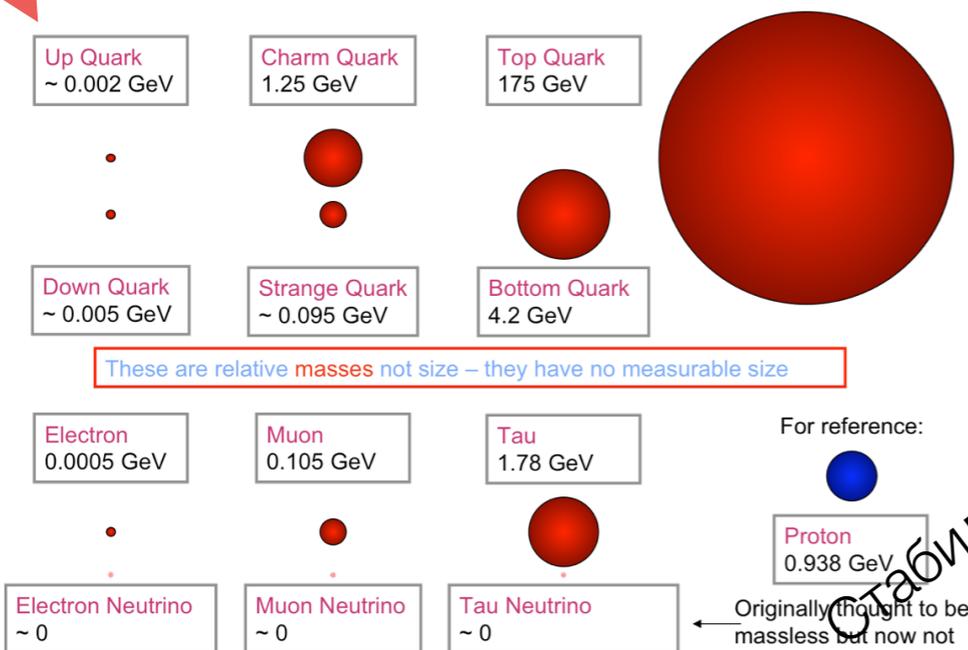
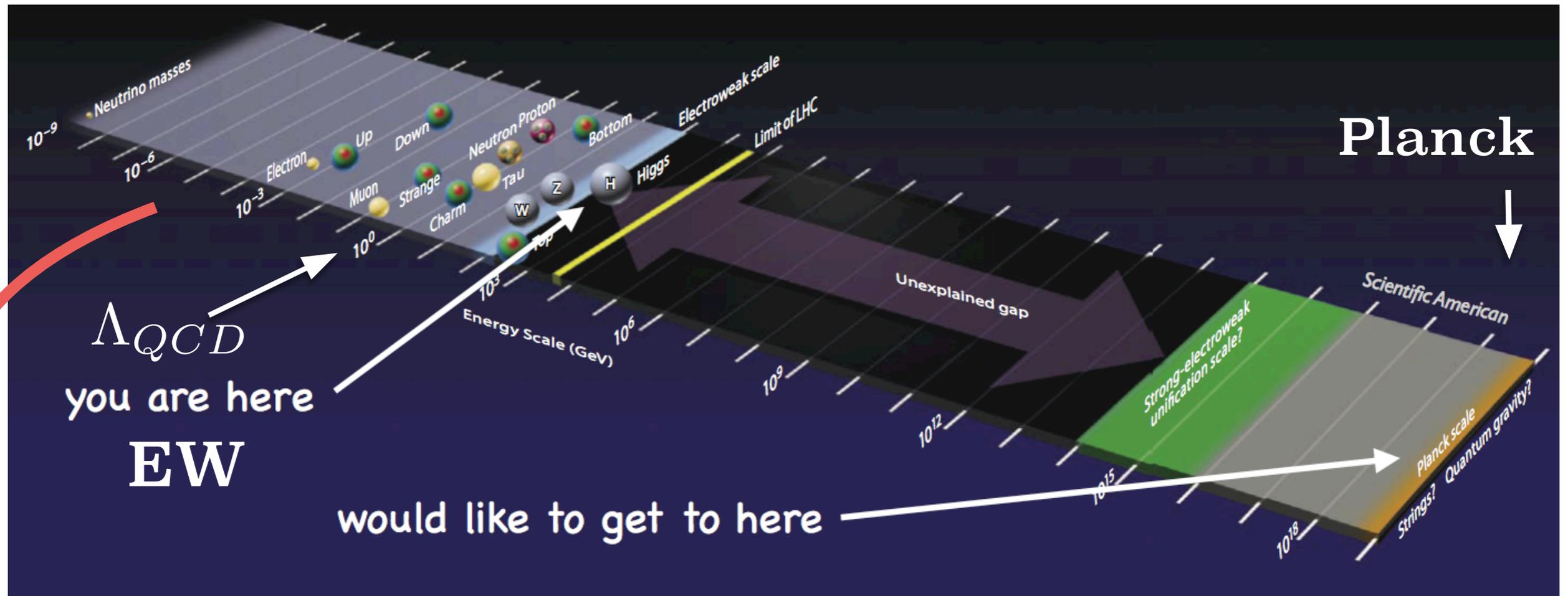
↑

Струнная шкала ~ 10^{18} GeV

↑

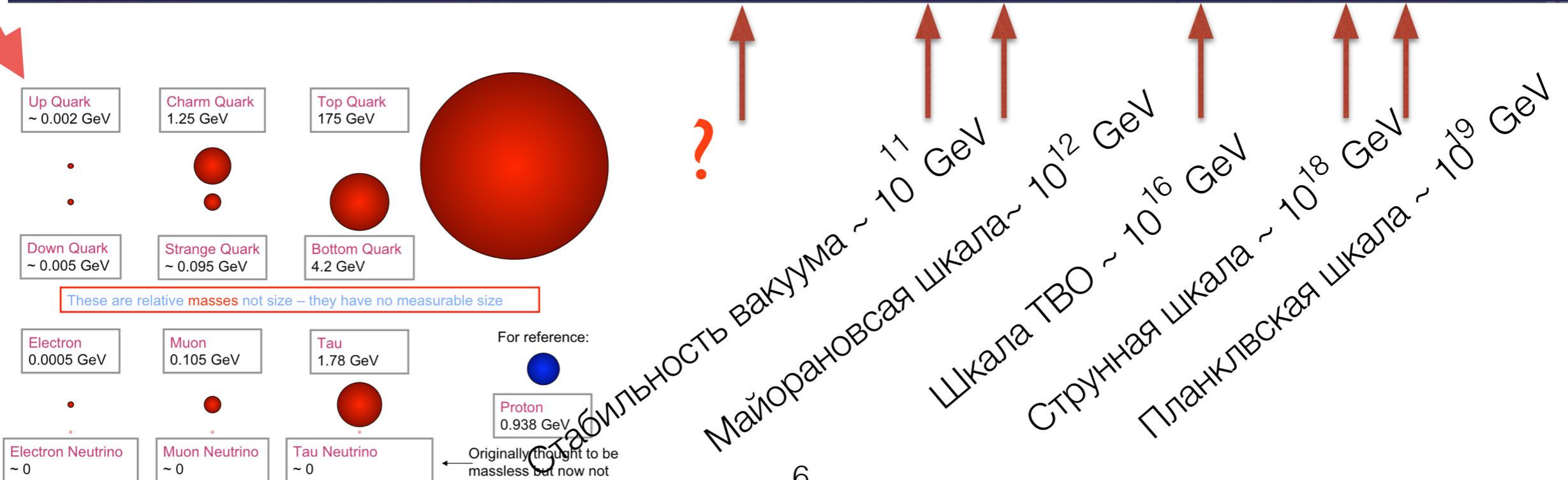
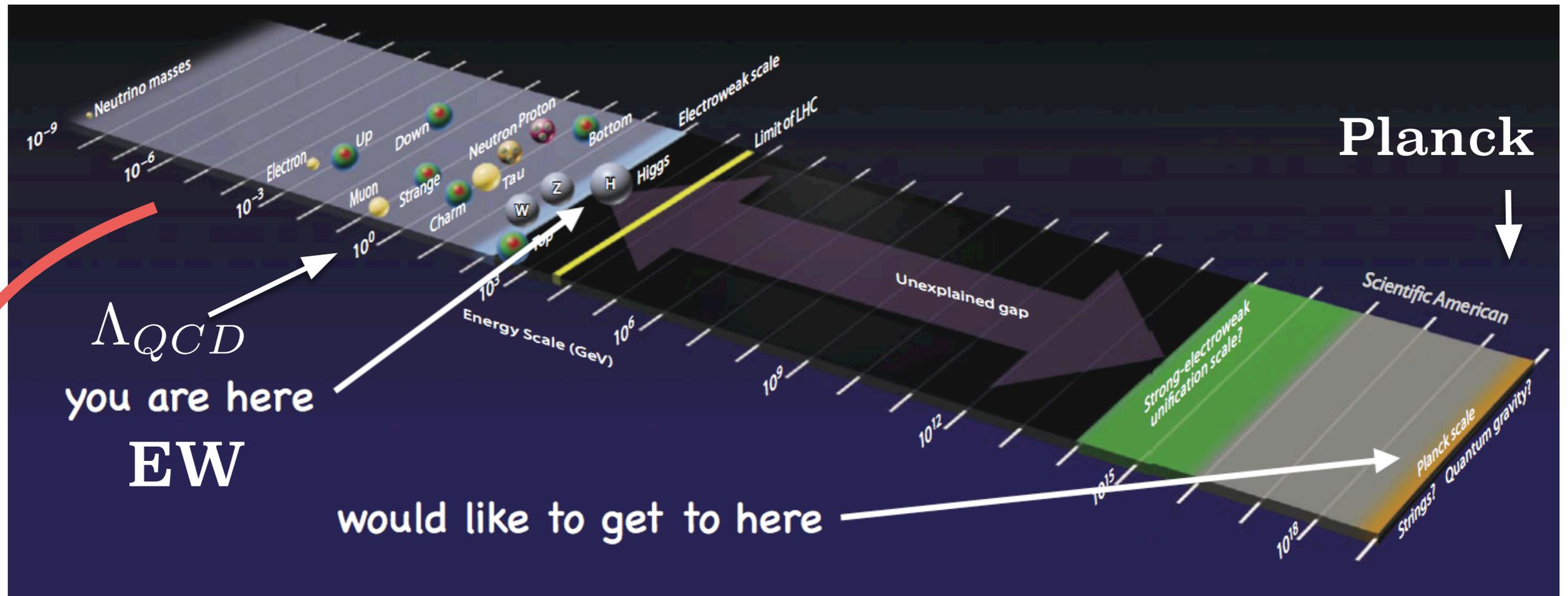
Планковская шкала ~ 10^{19} GeV

Существует ли другая шкала энергий помимо электро-слабой и планковской?

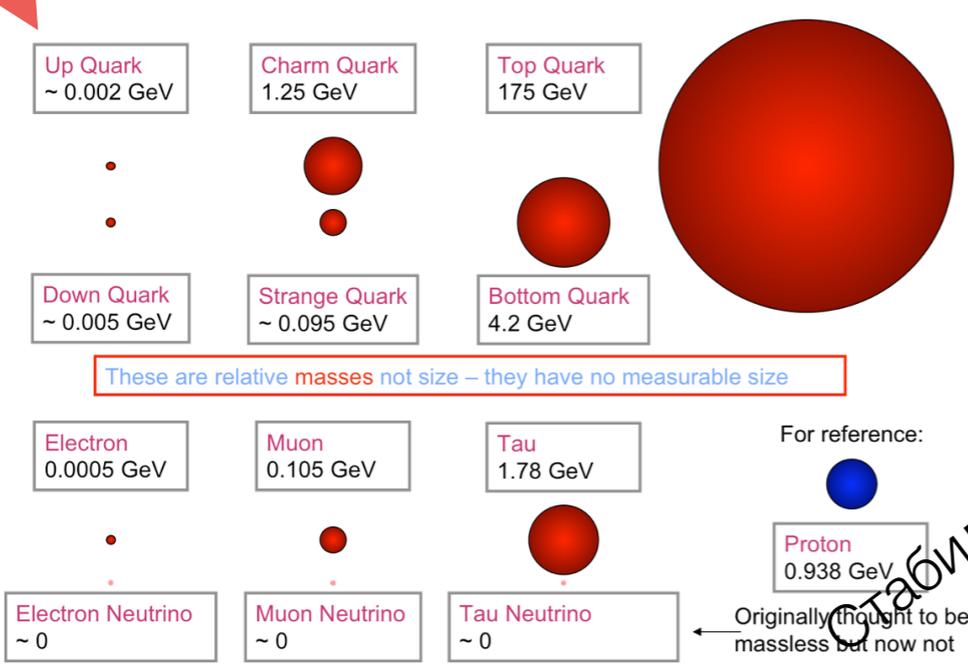
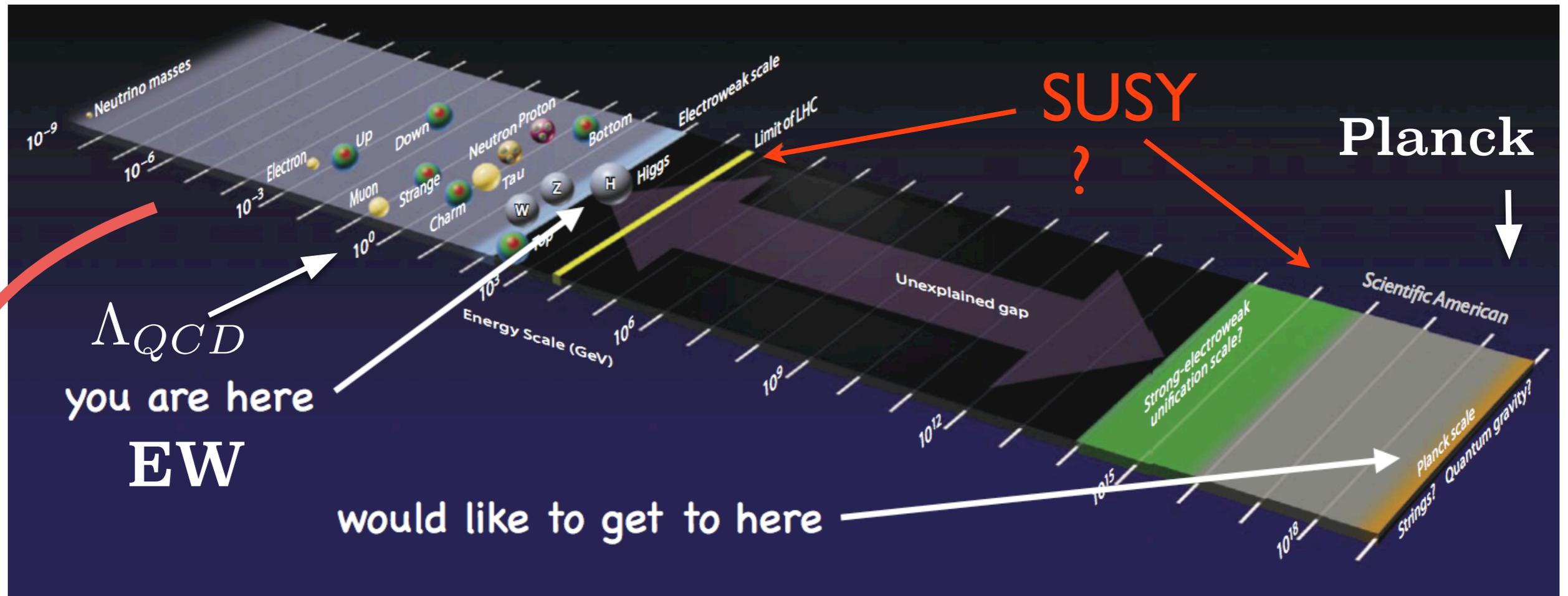


Майорановская шкала $\sim 10^{11}$ GeV
 Шкала ТВО $\sim 10^{12}$ GeV
 Струнная шкала $\sim 10^{16}$ GeV
 Планковская шкала $\sim 10^{18}$ GeV
 Планковская шкала $\sim 10^{19}$ GeV

Существует ли другая шкала энергий помимо электро-слабой и планковской?

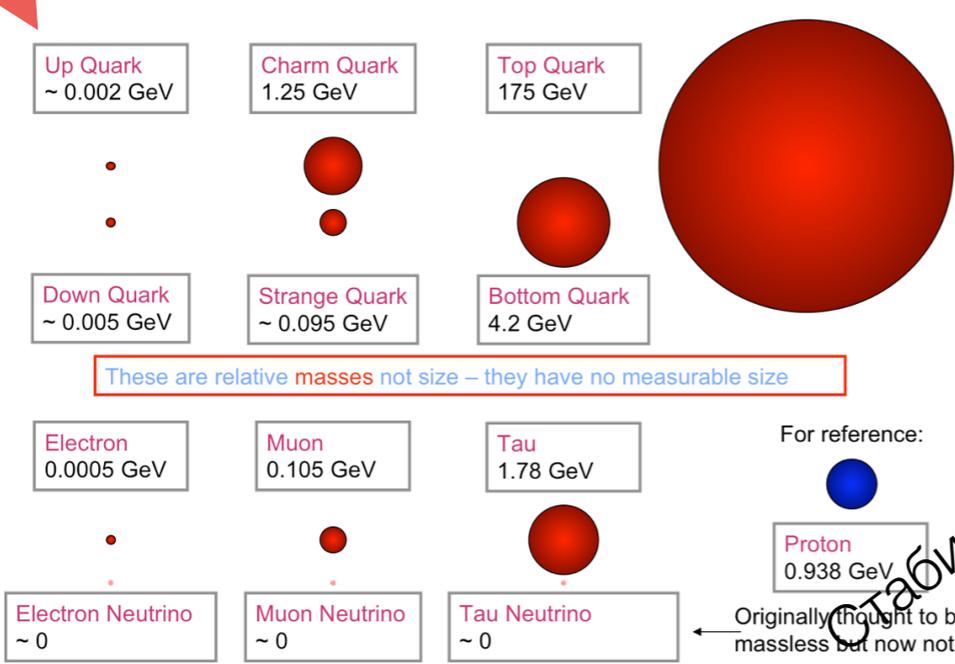
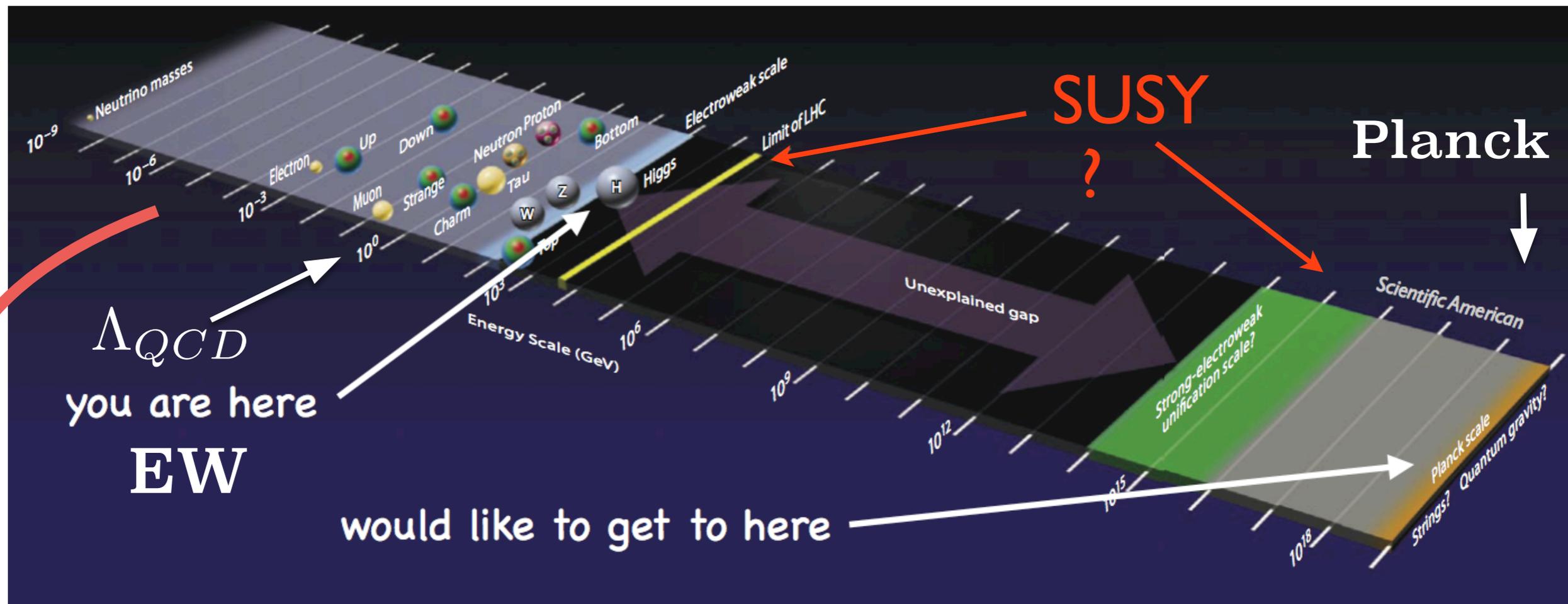


Существует ли другая шкала энергий помимо электро-слабой и планковской?



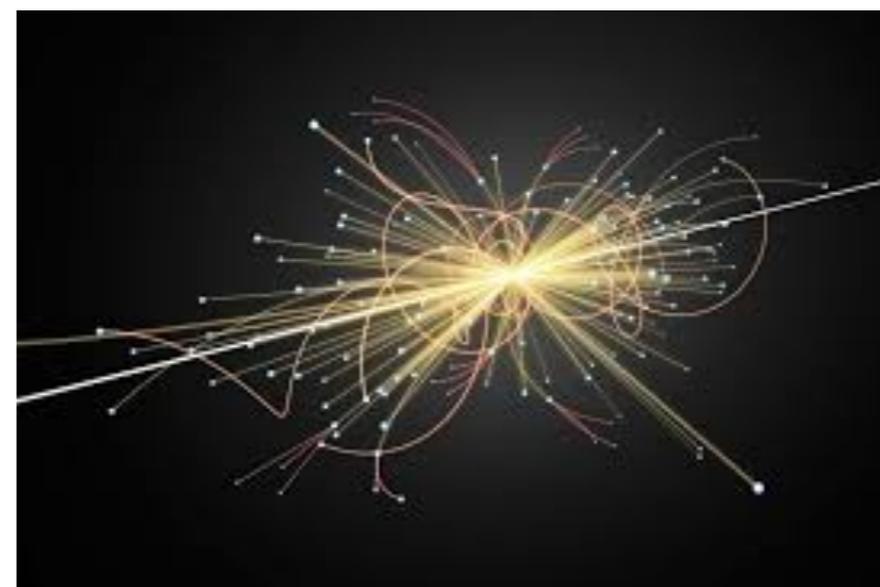
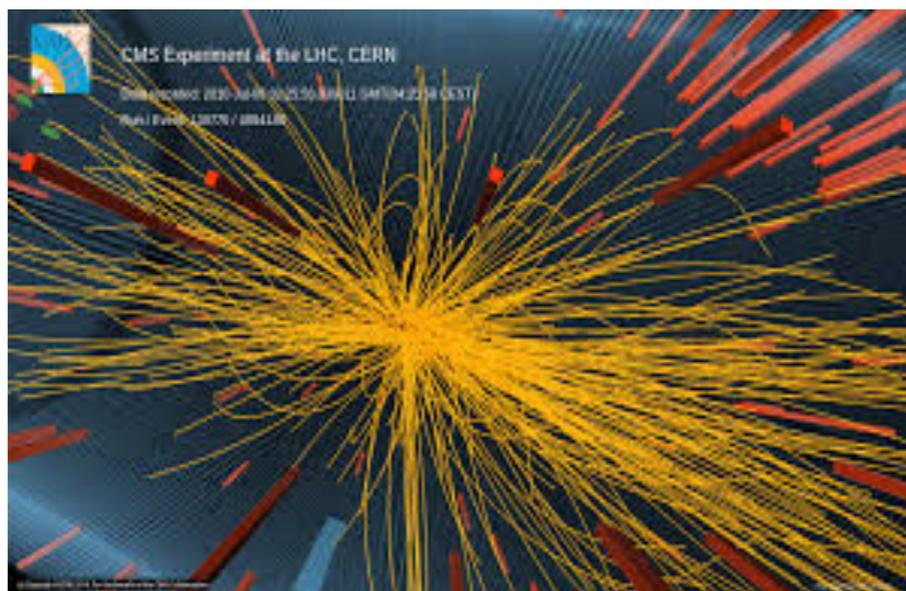
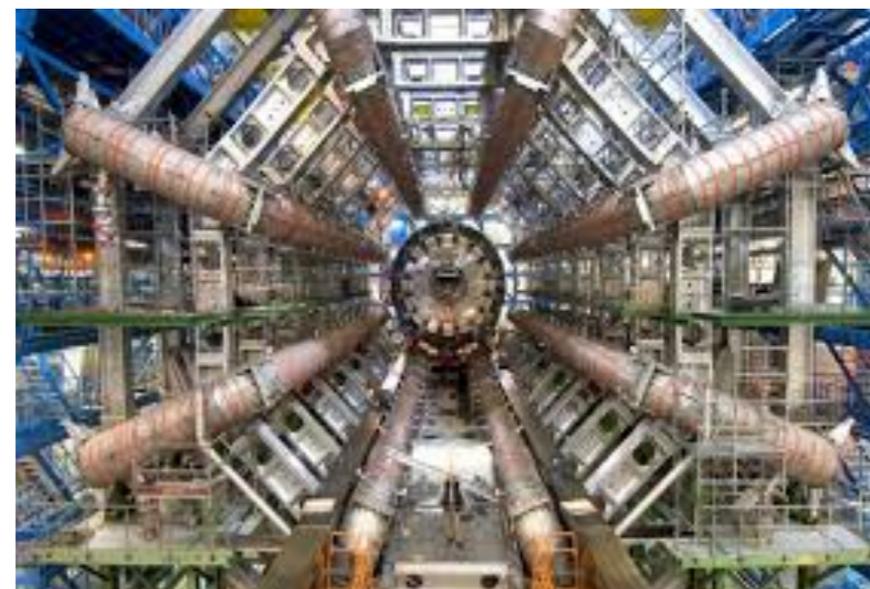
?
 Майорановская шкала ~ 10^{11} GeV
 Шкала ТВО ~ 10^{12} GeV
 Струнная шкала ~ 10^{16} GeV
 Планковская шкала ~ 10^{19} GeV

Существует ли другая шкала энергий помимо электро-слабой и планковской?



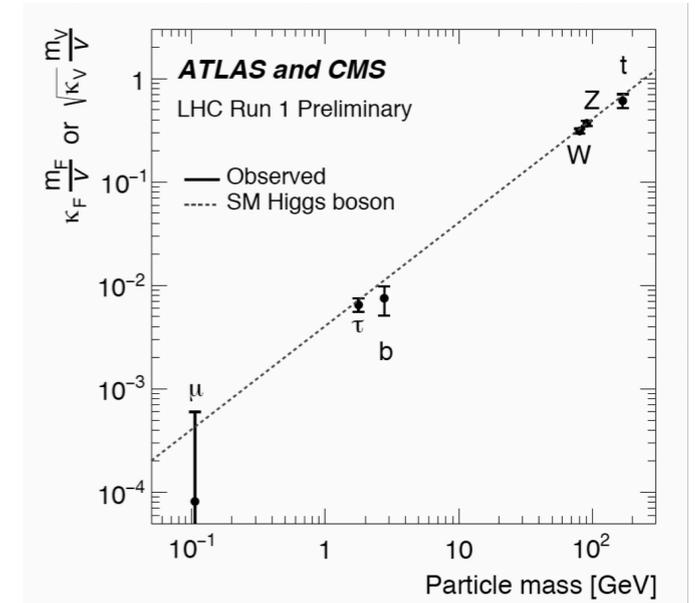
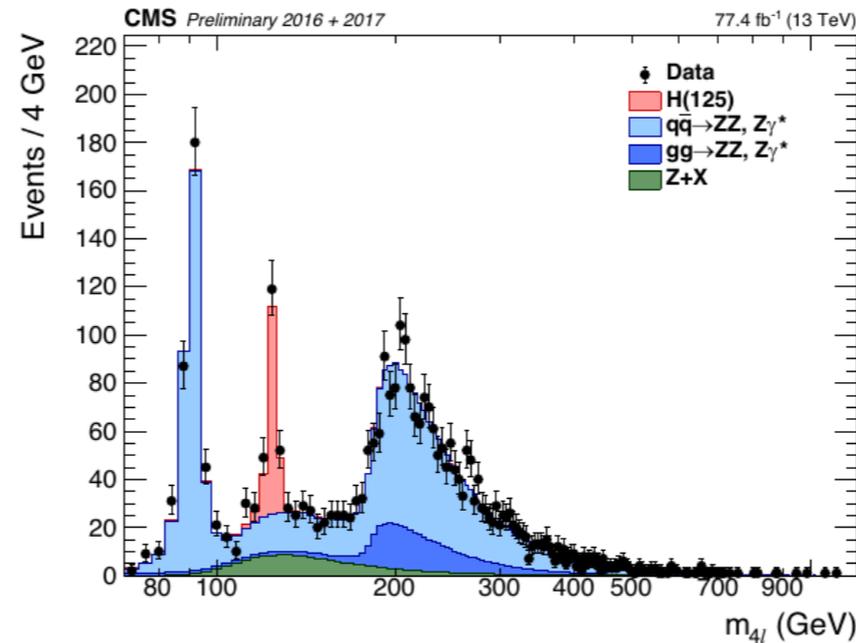
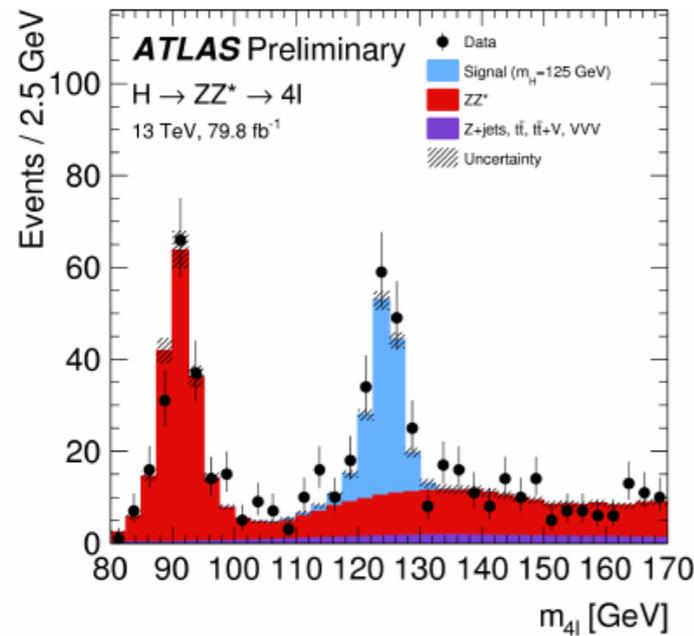
?
 Майорановская шкала ~ 10^{11} GeV
 Шкала ТВО ~ 10^{12} GeV
 Струнная шкала ~ 10^{16} GeV
 Планковская шкала ~ 10^{18} GeV
 ?

Ускорительная физика

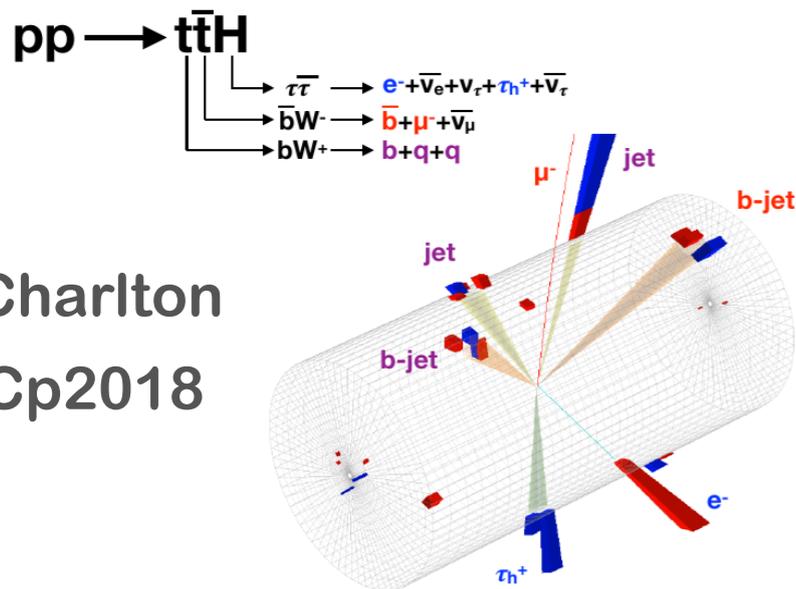


Хиггсовские бозоны: эра прецизионной физики

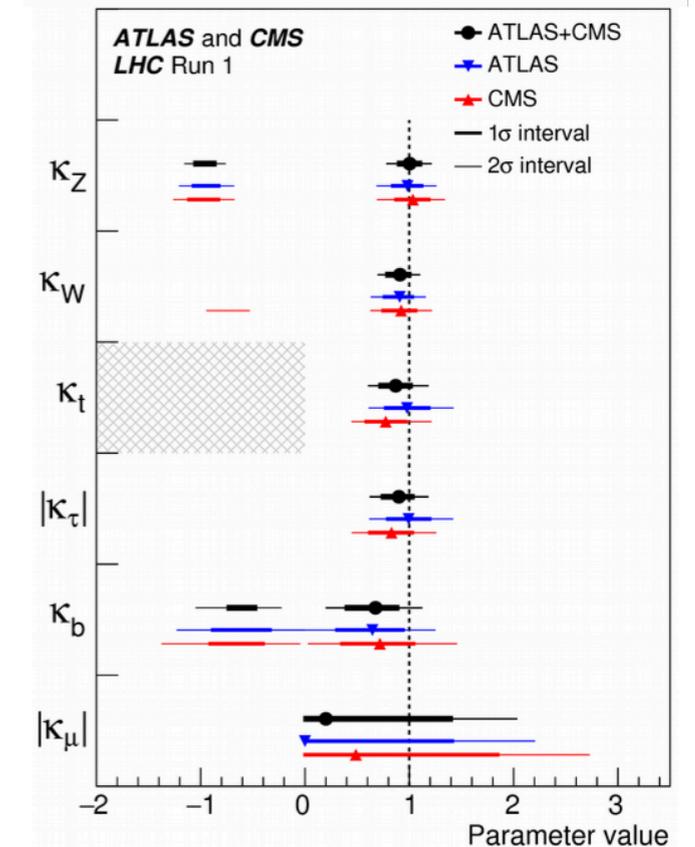
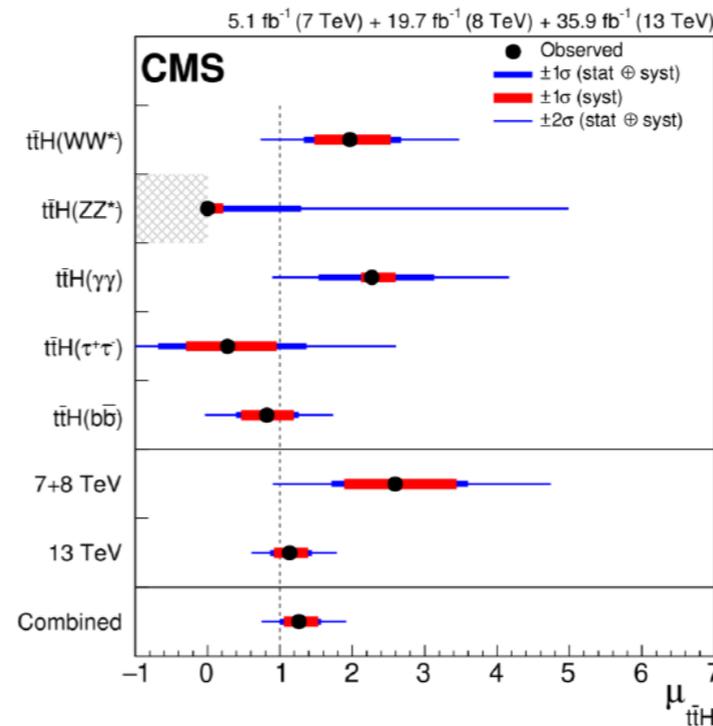
Анализ данных Run-2 с 150 fb^{-1} – высокоточная физика на коллайдере!



ttH observation

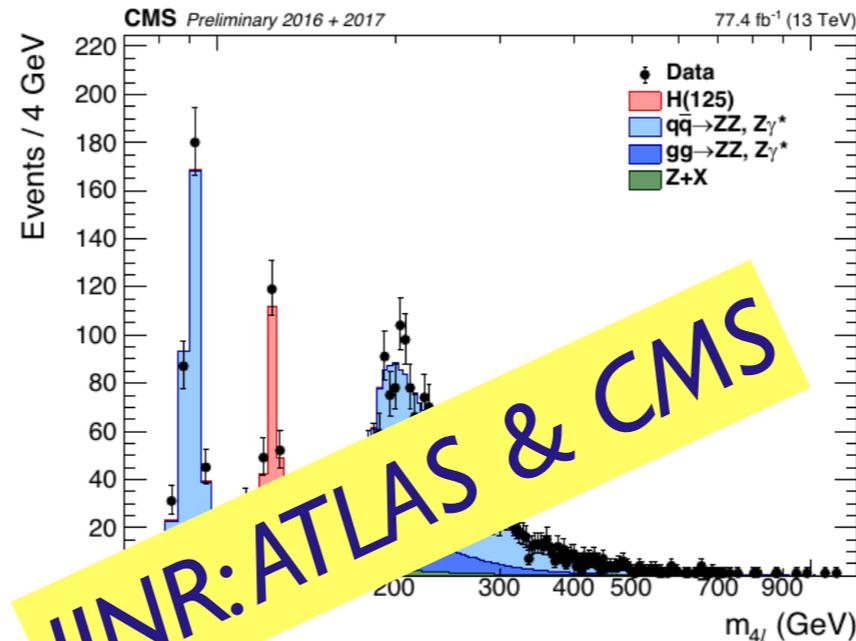
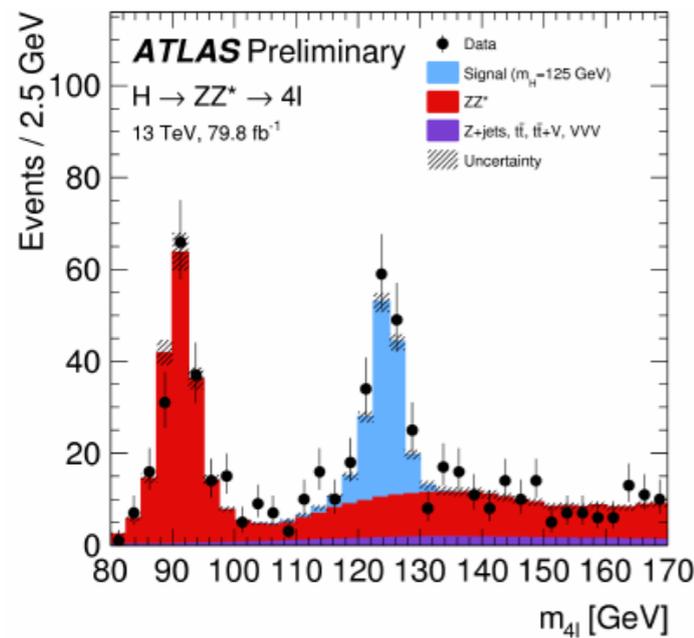


D. Charlton
 LHCp2018

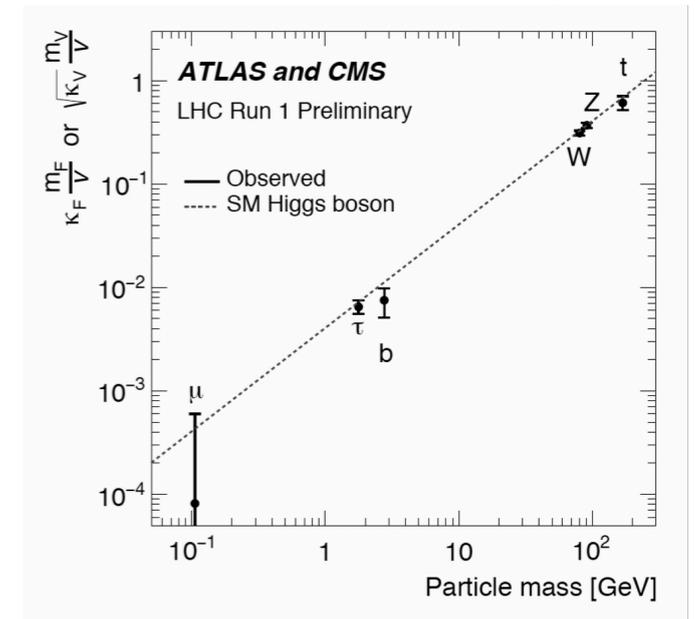


Хиггсовские бозоны: эра прецизионной физики

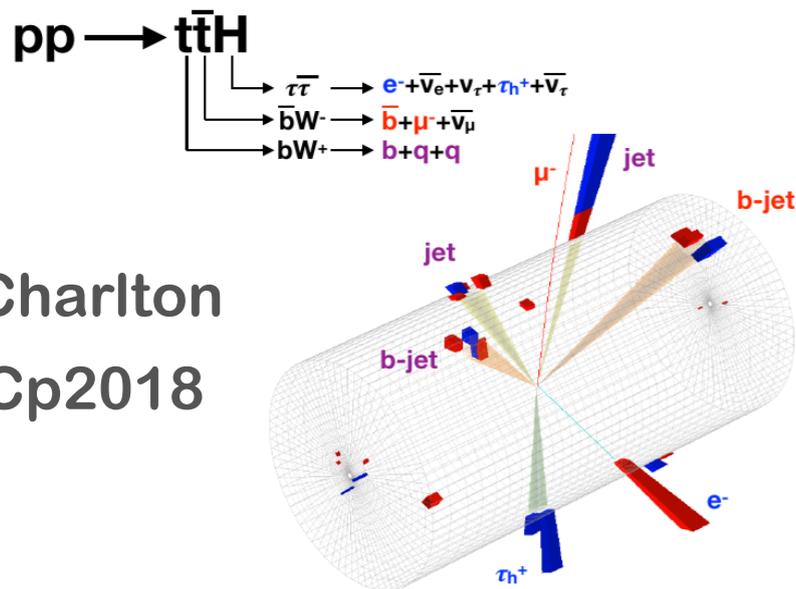
Анализ данных Run-2 с 150 fb^{-1} – высокоточная физика на коллайдере!



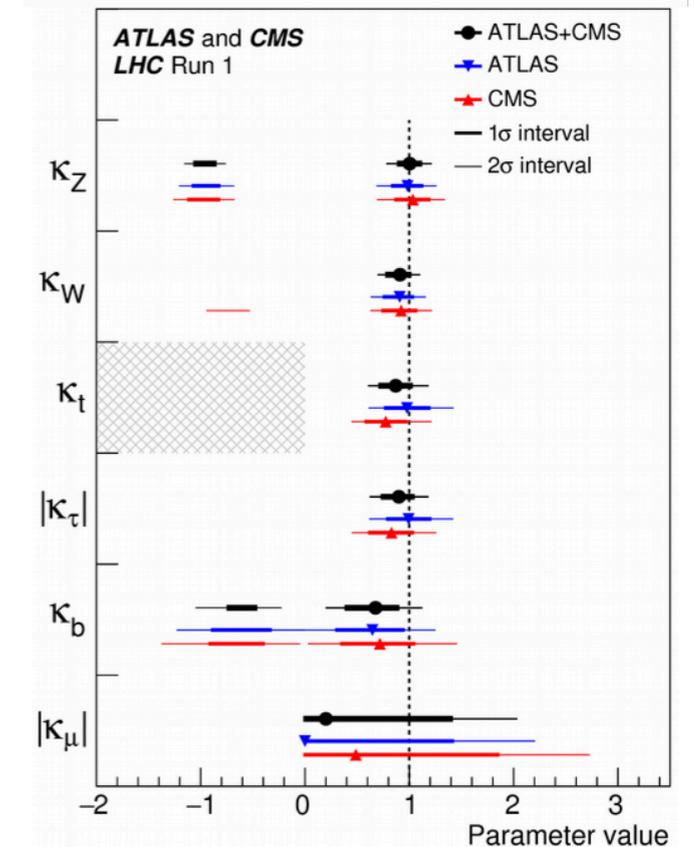
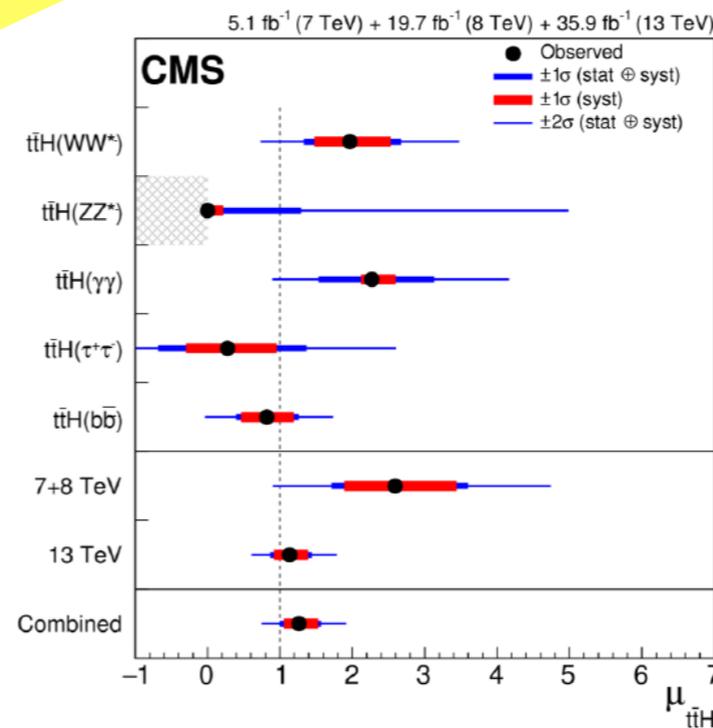
JINR: ATLAS & CMS



ttH observation

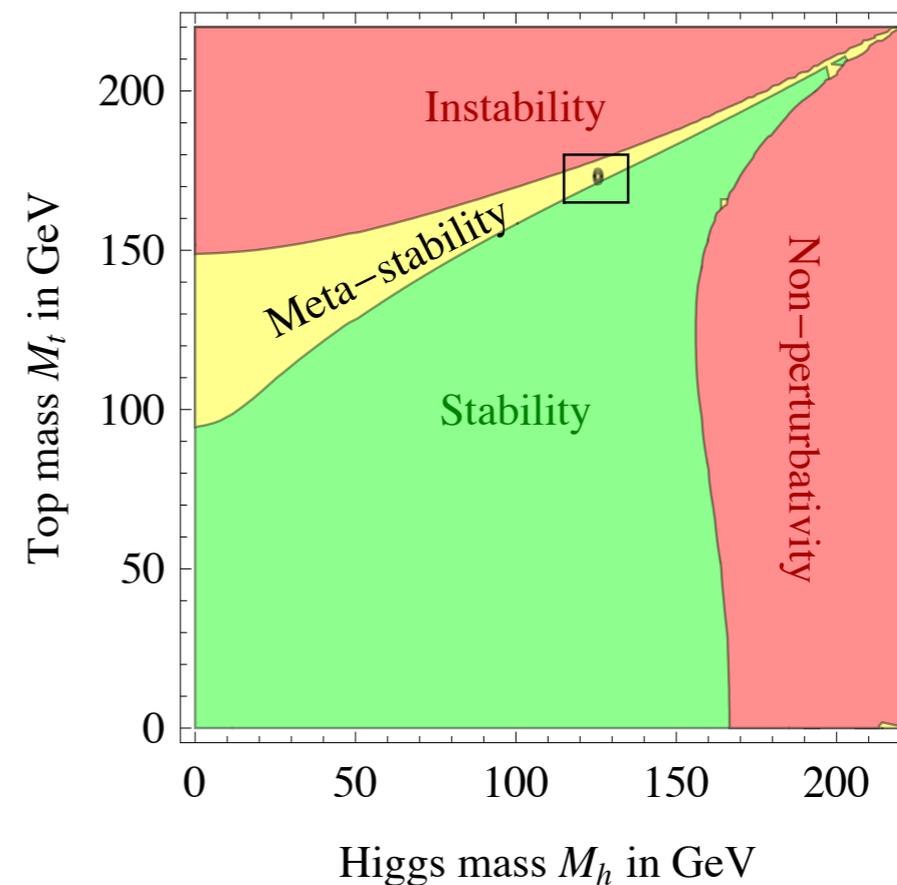
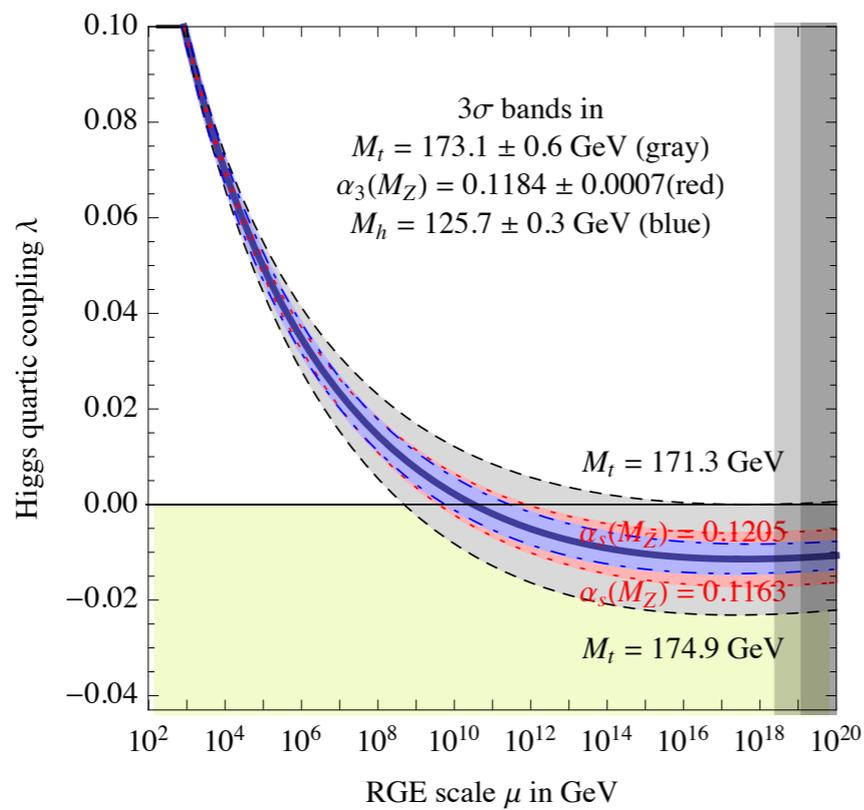


D. Charlton
 LHCp2018



СТАНДАРТНАЯ МОДЕЛЬ: СОСТОЯНИЕ ДЕЛ И ОТКРЫТЫЕ ВОПРОСЫ

- Электрослабый вакуум неустойчив относительно радиационных поправок
- Вся конструкция СМ может пошатнуться будучи метастабильной или даже нестабильной



- ситуация критически зависит от значения масс топ-кварка и хиггсовского бозона и требует тонкой подстройки и точных вычислений (3 петли)

Muon anomalous magnetic moment

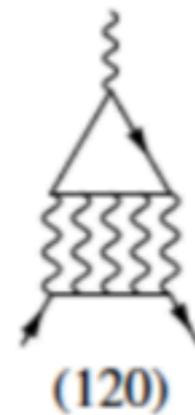
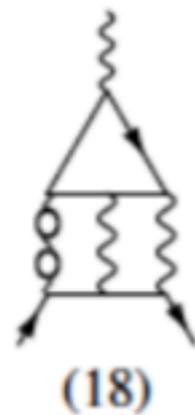
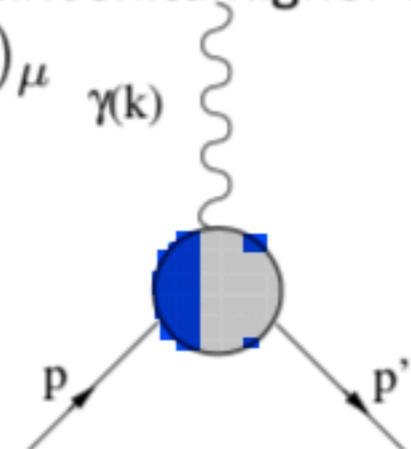
$$ie\bar{u}_\ell(p') \left[\gamma^\mu - \frac{a_\ell}{2m_\ell} i\sigma^{\mu\nu} q_\nu \right] u_\ell(p) \epsilon_\mu^*$$

(Schwinger α/π ,
Kinoshita higher orders in α)

$$q_\mu = (p - p')_\mu$$

Dirac equation predicts $g=2$ $a = (g - 2)/2$

For electron a_e theory and experiment agrees!



$$a_\mu^{th} - a_\mu^{exp} = -(3.06 \pm 0.76) \times 10^{-8} \quad 4\sigma$$

Theory: uncertainty in hadronic contributions to the muon $g - 2$, (Jägerlehner, 1802.08019).
Lattice QCD great progress light-by-light study (RBC & UKQCD, 1801.07224).

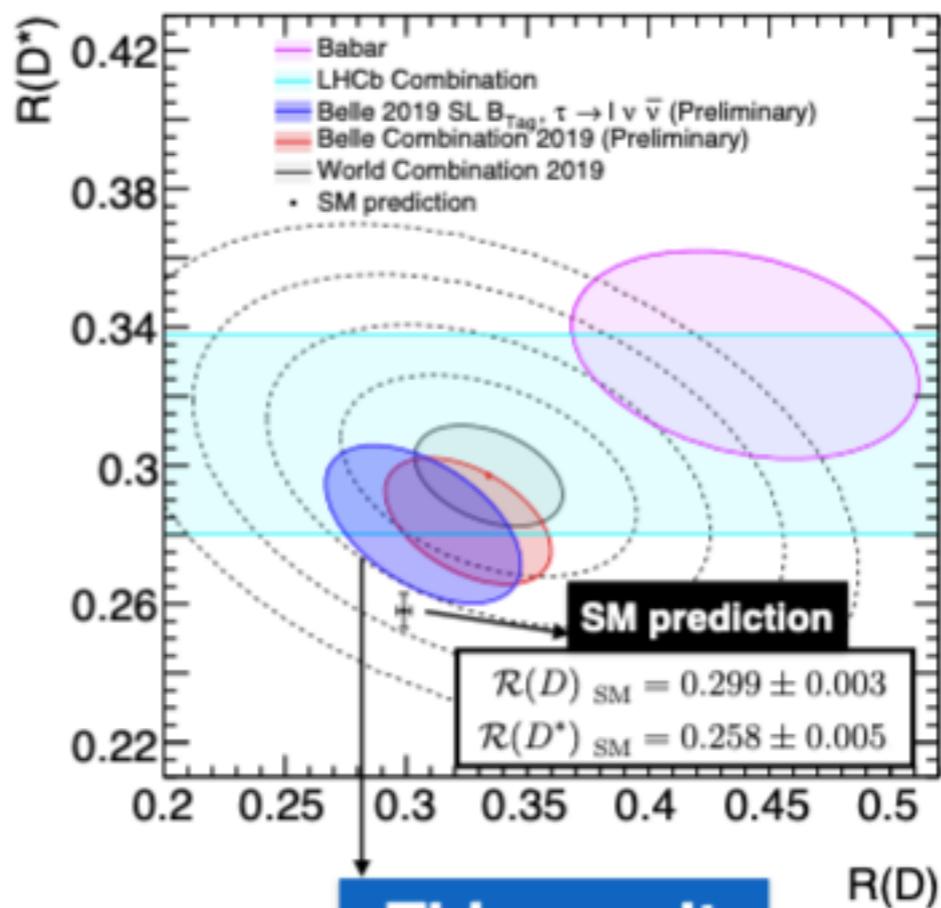
Fermilab and J-Park experiments are expected to clarify existing discrepancy!

СТАНДАРТНАЯ МОДЕЛЬ: СОСТОЯНИЕ ДЕЛ И ОТКРЫТЫЕ ВОПРОСЫ

B physics anomalies: experimental results \neq SM predictions!

charged current (SM tree level)

$$R_{D^{(*)}} = \frac{BR(B \rightarrow D^{(*)} \tau \nu_\tau)}{BR(B \rightarrow D^{(*)} \mu \nu_\mu)} \quad 3.8\sigma$$

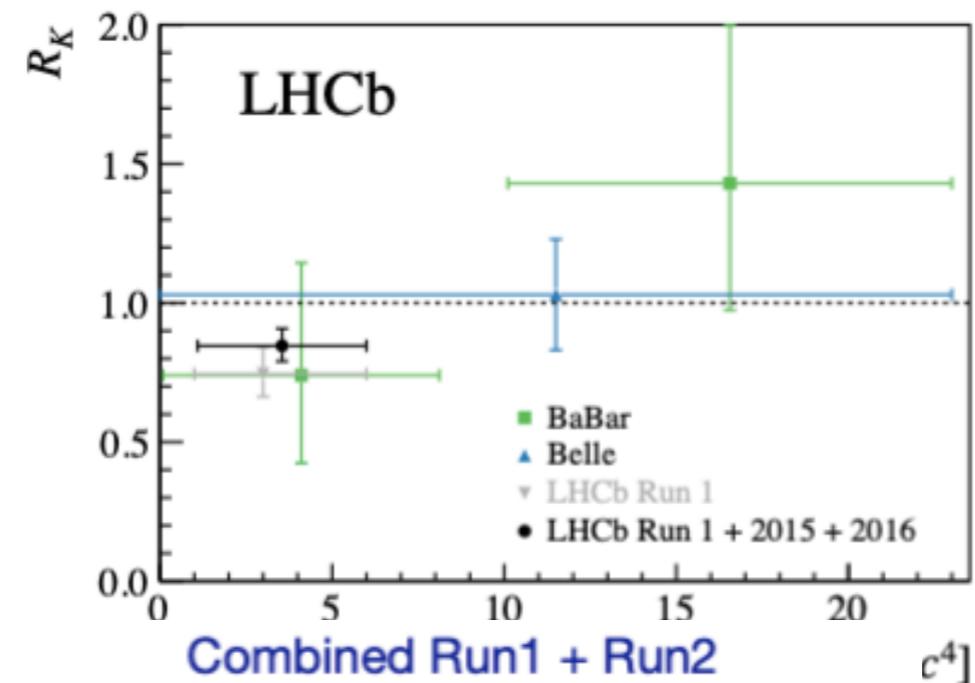


This result

$$\begin{aligned} R(D) &= 0.307 \pm 0.037 \pm 0.016 \\ R(D^*) &= 0.283 \pm 0.018 \pm 0.014 \end{aligned}$$

FCNC - SM loop process: $R_{K^{(*)}}$ anomaly

$$R_{K^{(*)}} = \frac{BR(B \rightarrow K^{(*)} \mu \mu)}{BR(B \rightarrow K^{(*)} e e)} \quad 2.5\sigma$$



$$R_K = 0.846^{+0.060}_{-0.054}(\text{stat.})^{+0.016}_{-0.014}(\text{syst.})$$

LHCb: the discrepancy present in $B_s \rightarrow \phi \mu \mu$ and $\Lambda_b \rightarrow \Lambda \mu \mu$

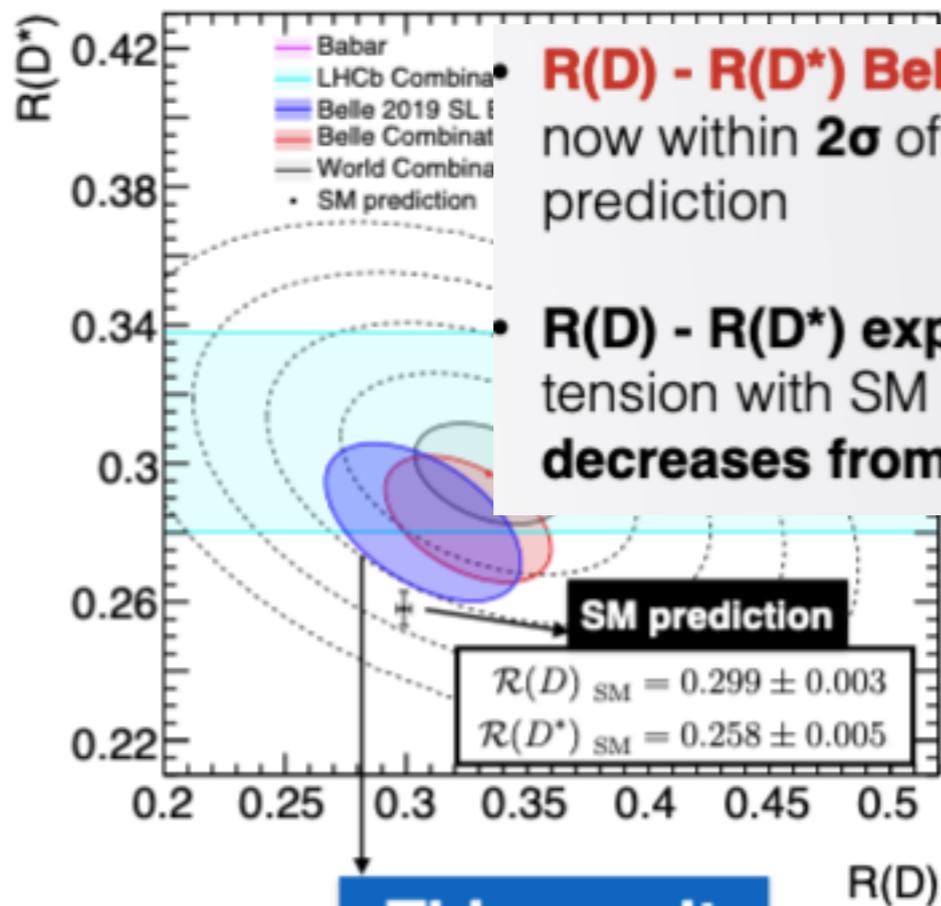
Discrepancy might dissolve and might as well grow up

СТАНДАРТНАЯ МОДЕЛЬ: СОСТОЯНИЕ ДЕЛ И ОТКРЫТЫЕ ВОПРОСЫ

B physics anomalies: experimental results \neq SM predictions!

charged current (SM tree level)

$$R_{D^{(*)}} = \frac{BR(B \rightarrow D^{(*)} \tau \nu_\tau)}{BR(B \rightarrow D^{(*)} \mu \nu_\mu)} \quad 3.8\sigma$$



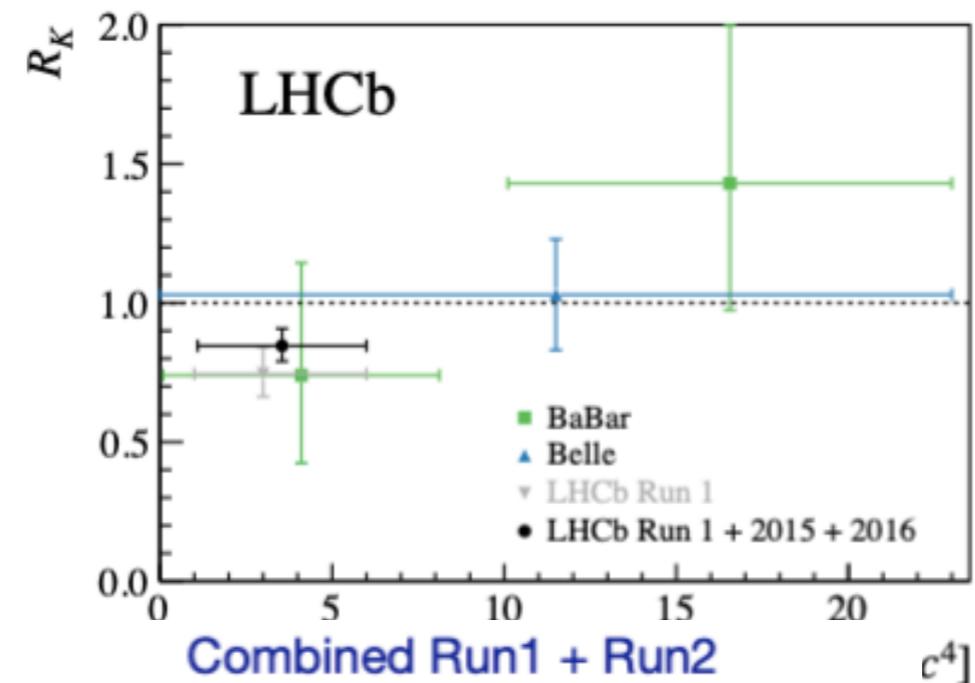
This result

$$R(D) = 0.307 \pm 0.037 \pm 0.016$$

$$R(D^*) = 0.283 \pm 0.018 \pm 0.014$$

FCNC - SM loop process: $R_{K^{(*)}}$ anomaly

$$R_{K^{(*)}} = \frac{BR(B \rightarrow K^{(*)} \mu \mu)}{BR(B \rightarrow K^{(*)} e e)} \quad 2.5\sigma$$



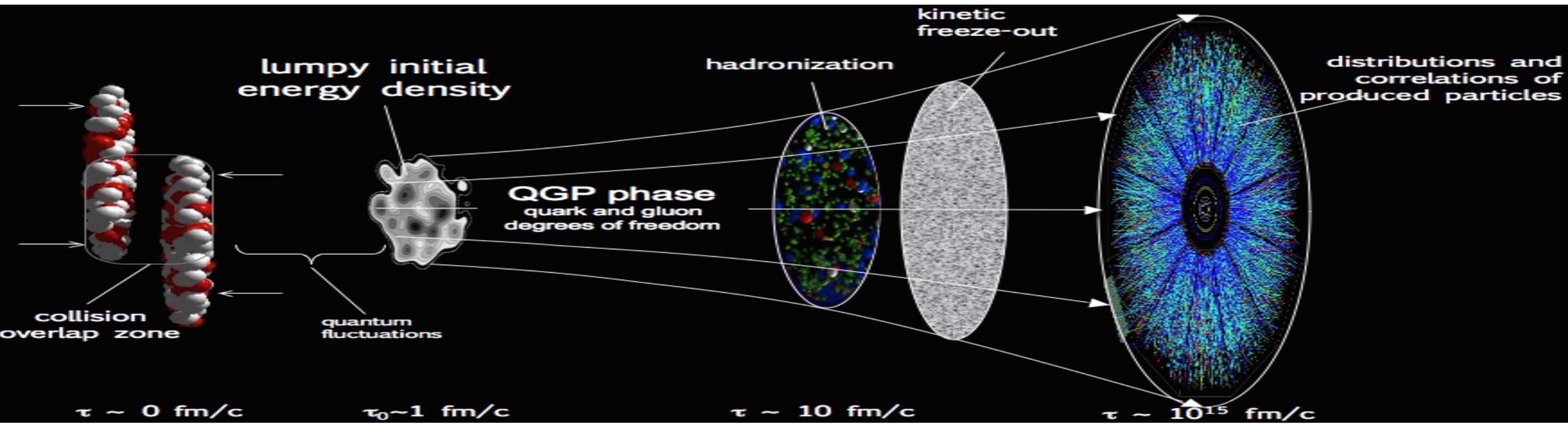
$$R_K = 0.846^{+0.060}_{-0.054}(\text{stat.})^{+0.016}_{-0.014}(\text{syst.})$$

LHCb: the discrepancy present in $B_s \rightarrow \phi \mu \mu$ and $\Lambda_b \rightarrow \Lambda \mu \mu$

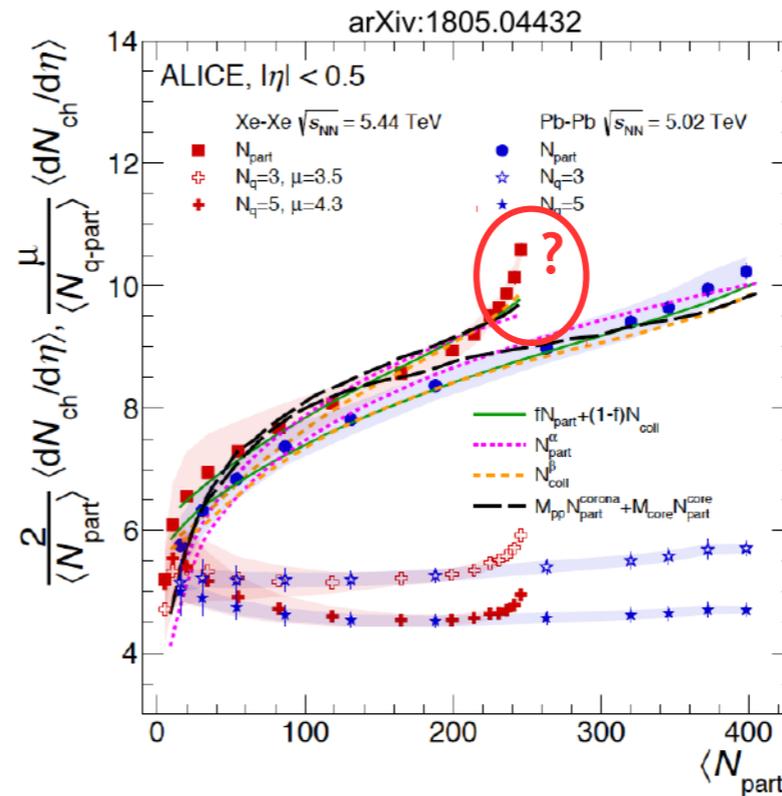
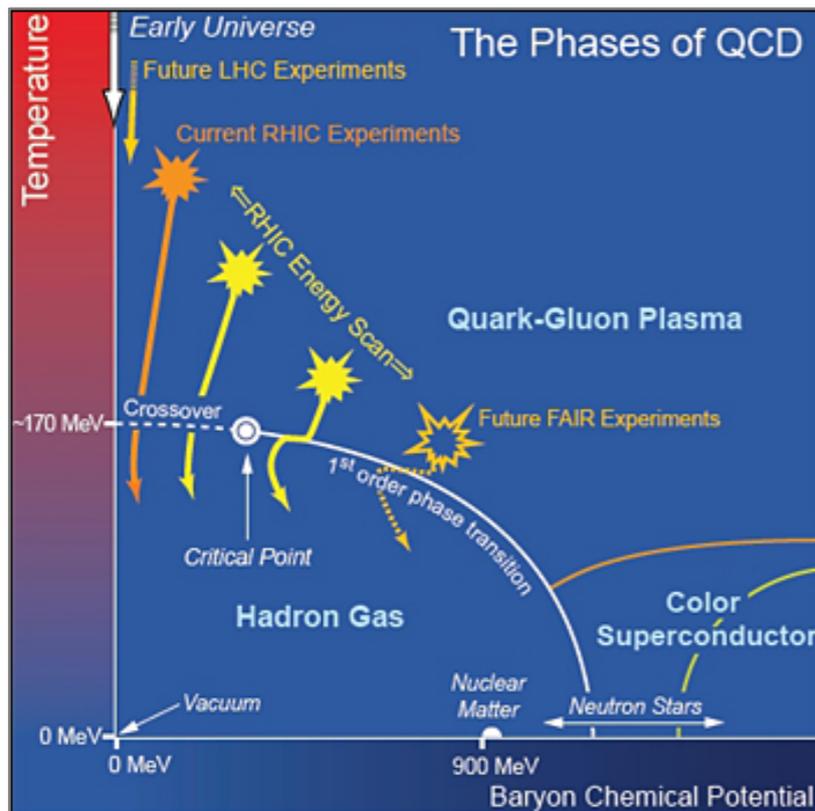
Discrepancy might dissolve and might as well grow up

СТАНДАРТНАЯ МОДЕЛЬ: СОСТОЯНИЕ ДЕЛ И ОТКРЫТЫЕ ВОПРОСЫ

Столкновения тяжёлых ионов: новые состояния вещества и новые явления при рекордных плотностях



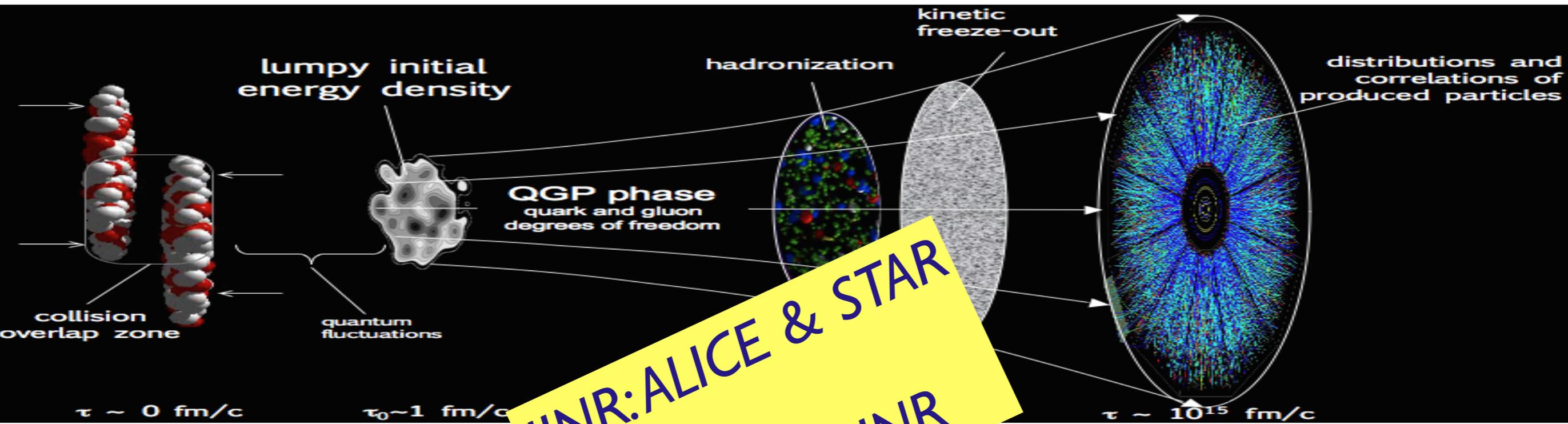
Фазовая диаграмма КХД



Резкое возрастание множественности при центральном столкновении в XeXe - невидимое в PbPb

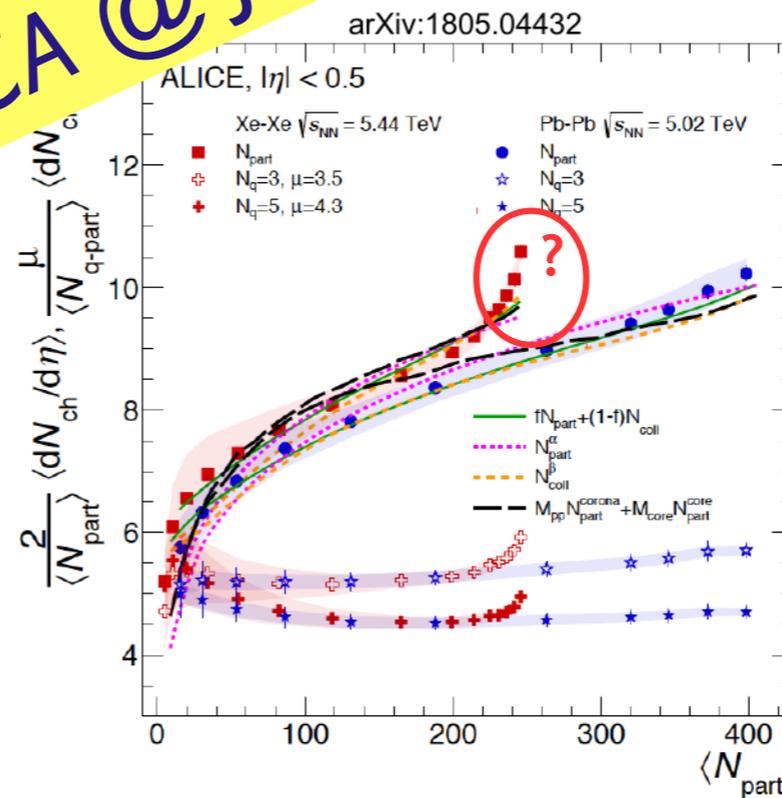
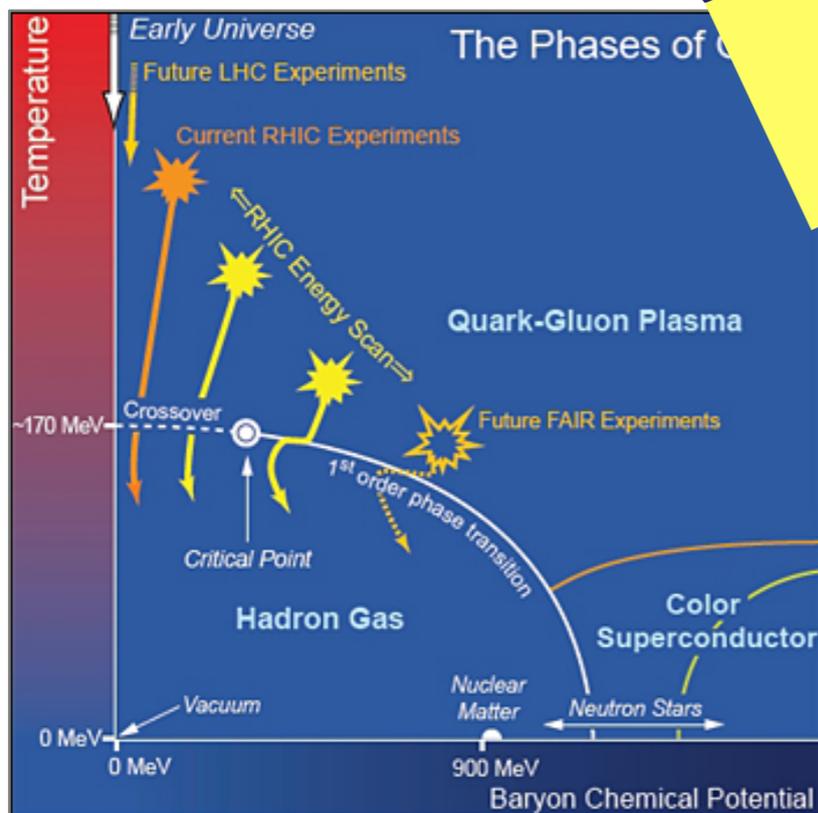
СТАНДАРТНАЯ МОДЕЛЬ: СОСТОЯНИЕ ДЕЛ И ОТКРЫТЫЕ ВОПРОСЫ

Столкновения тяжёлых ионов: новые состояния вещества и новые явления при рекордных плотностях



JINR: ALICE & STAR
NICA @ JINR

Фазовая диаграмма КХД



Резкое возрастание множественности при центральном столкновении в XeXe - невидимое в PbPb

СТАНДАРТНАЯ МОДЕЛЬ: СОСТОЯНИЕ ДЕЛ И ОТКРЫТЫЕ ВОПРОСЫ

ATLAS SUSY Searches* - 95% CL Lower Limits July 2018

Model	e, μ, τ, γ	Jets	E_T^{miss}	$\int \mathcal{L} dt [fb^{-1}]$	Mass limit	$\sqrt{s} = 7, 8 \text{ TeV}$	$\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$	Reference
Inclusive Searches	$\tilde{q}\tilde{q}, \tilde{q} \rightarrow q\tilde{\nu}_1^0$	0	2-6 jets	Yes	36.1	\tilde{q} [2x, 8x Degen.]	1.55	1712.02332
	$\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g} \rightarrow q\tilde{q}\tilde{\nu}_1^0$	0	2-6 jets	Yes	36.1	\tilde{g} [1x, 8x Degen.]	0.71	1711.03930
	$\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g} \rightarrow q\tilde{q}(\ell\ell)\tilde{\chi}_1^0$	3 e, μ	4 jets	-	36.1	Forbidden	0.95-1.6	2.0
	$\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g} \rightarrow q\tilde{q}WZ\tilde{\chi}_1^0$	0	7-11 jets	Yes	36.1	Forbidden	1.2	1.8
	$\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g} \rightarrow q\tilde{q}\tilde{\nu}_1^0$	3 e, μ	4 jets	-	36.1	Forbidden	0.98	2.0
	$\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g} \rightarrow \tilde{\nu}_1^0\tilde{\nu}_1^0$	0-1 e, μ	3 b	Yes	36.1	Forbidden	1.25	
3 rd gen. squarks direct production	$\tilde{b}_1\tilde{b}_1, \tilde{b}_1 \rightarrow b\tilde{\chi}_1^0/\tilde{\nu}_1^0$	Multiple	Multiple	Yes	36.1	Forbidden	0.9	$m(\tilde{\chi}_1^0) < 100 \text{ GeV}$
	$\tilde{b}_1\tilde{b}_1, \tilde{t}_1\tilde{t}_1, M_2 = 2 \times M_1$	Multiple	Multiple	Yes	36.1	Forbidden	0.58-0.82	$m(\tilde{\chi}_1^0) = 20c$
	$\tilde{t}_1\tilde{t}_1, \tilde{t}_1 \rightarrow Wb\tilde{\chi}_1^0$ or $\tilde{t}_1\tilde{t}_1 \rightarrow \tilde{t}_1\tilde{LSP}$	0-2 e, μ	0-2 jets/1-2 b	Yes	36.1	Forbidden	0.7	$m(\tilde{\chi}_1^0) = 15t$
	$\tilde{t}_1\tilde{t}_1, \tilde{t}_1 \rightarrow Wb\tilde{\chi}_1^0$ or $\tilde{t}_1\tilde{t}_1 \rightarrow \tilde{t}_1\tilde{LSP}$	Multiple	Multiple	Yes	36.1	Forbidden	0.9	$m(\tilde{\chi}_1^0) = 30t$
	$\tilde{t}_1\tilde{t}_1, \tilde{t}_1 \rightarrow Wb\tilde{\chi}_1^0$ or $\tilde{t}_1\tilde{t}_1 \rightarrow \tilde{t}_1\tilde{LSP}$	Multiple	Multiple	Yes	36.1	Forbidden	0.4-0.9	$m(\tilde{\chi}_1^0) = 15t$
	$\tilde{t}_1\tilde{t}_1, \tilde{t}_1 \rightarrow c\tilde{\chi}_1^0/\tilde{\nu}_1^0, \tilde{t}_1 \rightarrow c\tilde{\chi}_1^0$	0	2 c	Yes	36.1	Forbidden	0.6-0.8	$m(\tilde{\chi}_1^0) = 15t$
EW direct	$\tilde{\chi}_1^0\tilde{\chi}_2^0$ via WZ	2-3 e, μ	≥ 1	Yes	36.1	$\tilde{\chi}_1^0/\tilde{\chi}_2^0$	0.17	0.6
	$\tilde{\chi}_1^0\tilde{\chi}_2^0$ via Wh	$\ell\ell\gamma\gamma/\ell b b$	≥ 1	Yes	20.3	$\tilde{\chi}_1^0/\tilde{\chi}_2^0$	0.26	0.76
	$\tilde{\chi}_1^0\tilde{\chi}_1^0/\tilde{\chi}_2^0, \tilde{\chi}_1^0 \rightarrow \tilde{\nu}_1^0(\tau\tilde{\nu}), \tilde{\chi}_2^0 \rightarrow \tilde{\nu}_1^0(\nu\tilde{\nu})$	2 τ	-	Yes	36.1	$\tilde{\chi}_1^0/\tilde{\chi}_2^0$	0.22	0.5
	$\tilde{\chi}_1^0\tilde{\chi}_1^0, \tilde{\chi}_1^0 \rightarrow \tilde{\nu}_1^0$	2 e, μ	0	Yes	36.1	$\tilde{\chi}_1^0$	0.18	0.5
Long-lived particles	Direct $\tilde{\chi}_1^0\tilde{\chi}_1^0$ prod., long-lived $\tilde{\chi}_1^+$	Disapp. trk	1 jet	Yes	36.1	$\tilde{\chi}_1^+$	0.15	0.46
	Stable \tilde{g} R-hadron	SMP	-	-	3.2	\tilde{g}	1.6	1.6
RPV	LFV $pp \rightarrow \tilde{\nu}_i + X, \tilde{\nu}_i \rightarrow e\mu/\tau\mu/\mu\tau$	$e, \mu, \tau, \mu\tau$	-	-	3.2	$\tilde{\nu}_i$	1.9	1.9
	$\tilde{\chi}_1^0\tilde{\chi}_1^0/\tilde{\chi}_2^0 \rightarrow WWZZ\ell\ell\nu\nu$	4 e, μ	0	Yes	36.1	$\tilde{\chi}_1^0/\tilde{\chi}_2^0$ [$A_{333} \neq 0, A_{122} \neq 0$]	0.82	1.33
	$\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g} \rightarrow q\tilde{q}\tilde{\nu}_1^0, \tilde{\chi}_1^0 \rightarrow q\tilde{q}q$	0	4-5 large-R jets	-	36.1	\tilde{g} [$M_{323}^2 = 200 \text{ GeV}, 1100 \text{ GeV}$]	1.3	1.9
	$\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g} \rightarrow q\tilde{q}\tilde{\nu}_1^0, \tilde{\chi}_1^0 \rightarrow q\tilde{q}q$	Multiple	Multiple	-	36.1	\tilde{g} [$M_{323}^2 = 20-4, 20-5$]	1.05	2.0
EWK Gauginos	$\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g} \rightarrow t\tilde{b}s/\tilde{g} \rightarrow t\tilde{\nu}_1^0, \tilde{\chi}_1^0 \rightarrow t\tilde{b}s$	Multiple	Multiple	-	36.1	\tilde{g} [$M_{323}^2 = 1, 10-2$]	1.8	2.1
	$\tilde{t}_1\tilde{t}_1, \tilde{t}_1 \rightarrow t\tilde{b}s$	Multiple	Multiple	-	36.1	\tilde{t}_1 [$M_{323}^2 = 20-4, 10-2$]	0.55	1.05
	$\tilde{t}_1\tilde{t}_1, \tilde{t}_1 \rightarrow t\tilde{b}s$	0	2 jets + 2 b	-	36.7	\tilde{t}_1 [qq, bs]	0.42	0.61
$\tilde{t}_1\tilde{t}_1, \tilde{t}_1 \rightarrow t\tilde{b}s$	2 e, μ	2 b	-	36.1	\tilde{t}_1	0.4-1.45		

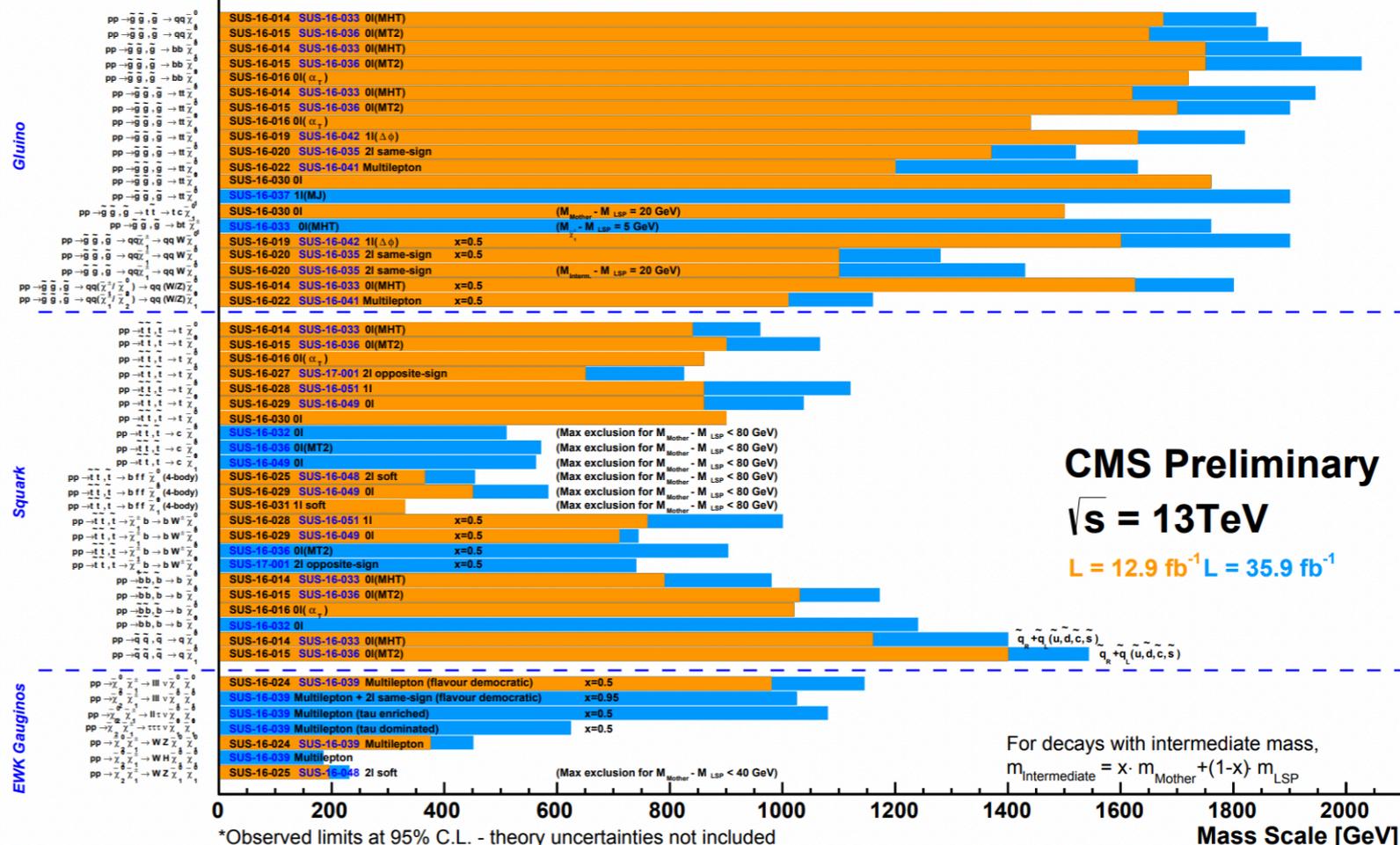
*Only a selection of the available mass limits on new states or phenomena is shown. Many of the limits are based on simplified models, c.f. refs. for the assumptions made.

ATLAS Preliminary $\sqrt{s} = 7, 8, 13 \text{ TeV}$

SUSY or not SUSY?

Selected CMS SUSY Results* - SMS Interpretation

ICHEP '16 - Moriond '17



- Отсутствие суперсимметрии -> послание с LHC
- В наилучших/крайних сценариях мы исключаем глюино до O(2)/O(1) ТэВ
- скварки до O(1.5)/O(0.5) ТэВ
- стоп и сботтом до O(1)/O(0.7) ТэВ
- Электрослабые частицы до O(0.5-1)/O(0.1) ТэВ

- Области параметров ещё не все охвачены
- Следующий шаг состоит в полном анализе данных из Run 2 (150 fb-1)
- Закрывать все возможные области пространства параметров

СТАНДАРТНАЯ МОДЕЛЬ: СОСТОЯНИЕ ДЕЛ И ОТКРЫТЫЕ ВОПРОСЫ

ATLAS SUSY Searches* - 95% CL Lower Limits
July 2018

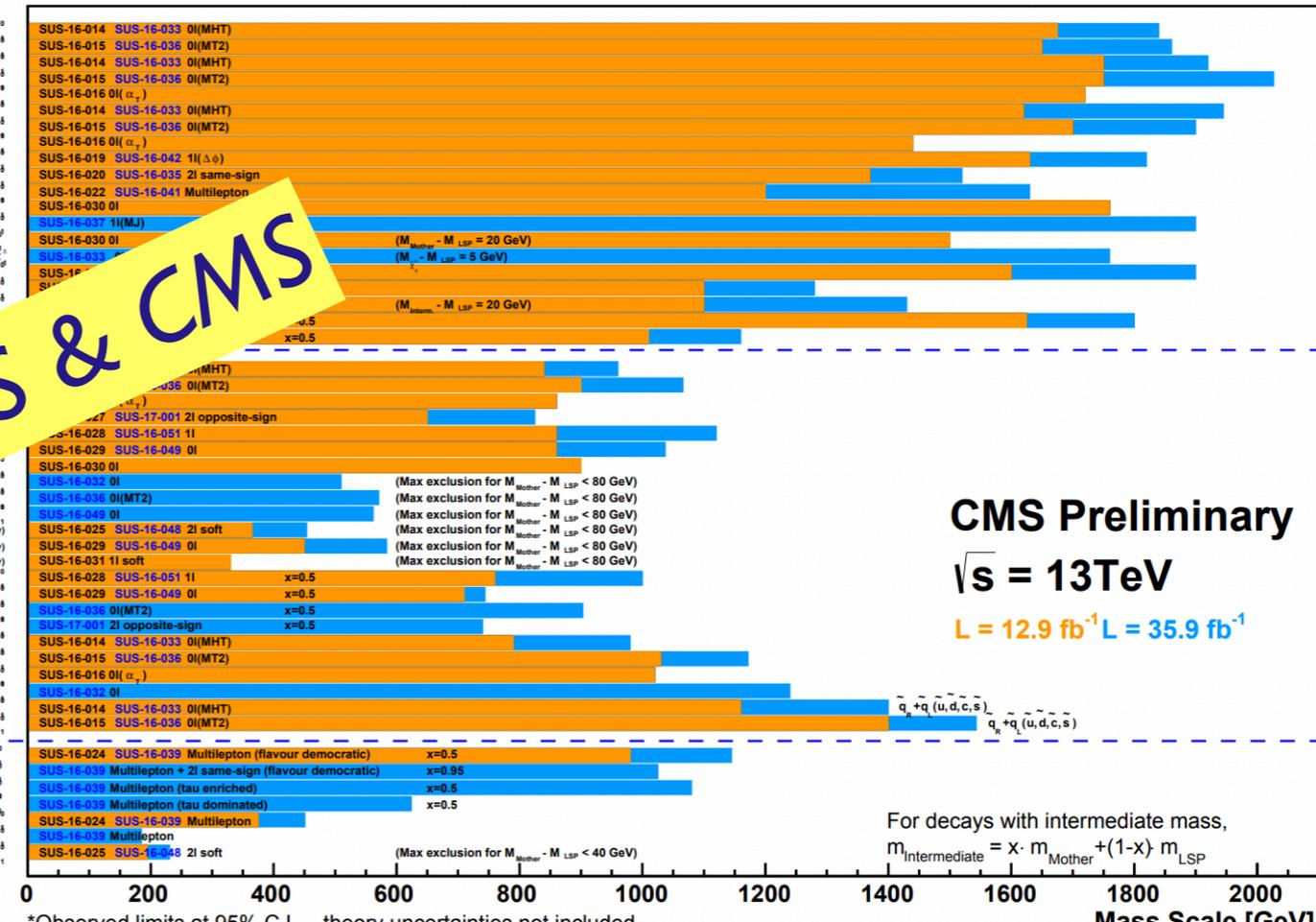
Model	e, μ, τ, γ	Jets	E_T^{miss}	$\int \mathcal{L} dt [fb^{-1}]$	Mass limit	$\sqrt{s} = 7, 8 \text{ TeV}$	$\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$	Reference	
Inclusive Searches	$\tilde{q}\tilde{q}, \tilde{q} \rightarrow q\tilde{\nu}_1^0$	mono-jet	Yes	36.1	\tilde{q} [2x, 8x Degen.]	0.43	0.71	1.55	
		1-3 jets	Yes	36.1	\tilde{q} [1x, 8x Degen.]	0.43	0.71	1.55	
	$\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g} \rightarrow q\tilde{q}\tilde{\nu}_1^0$	2-6 jets	Yes	36.1	\tilde{g}	Forbidden	0.95-1.6	2.0	
		3 e, μ	4 jets	-	36.1	\tilde{g}	Forbidden	1.85	
	$\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g} \rightarrow q\tilde{q}\ell\ell\tilde{\nu}_1^0$	3 e, μ	4 jets	-	36.1	\tilde{g}	1.2	1.8	
		0	7-11 jets	Yes	36.1	\tilde{g}	0.98	2.0	
$\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g} \rightarrow q\tilde{q}WZ\tilde{\nu}_1^0$	3 e, μ	4 jets	-	36.1	\tilde{g}	0.98	2.0		
	0-1 e, μ	3 b	Yes	36.1	\tilde{g}	1.25	-		
3 rd gen. squarks direct production	$\tilde{b}_1\tilde{b}_1, \tilde{b}_1 \rightarrow b\tilde{\nu}_1^0/\tilde{\nu}_1^+$	Multiple	Yes	36.1	\tilde{b}_1	Forbidden	0.9	$m(\tilde{\nu}_1^0) < 100 \text{ GeV}$	
		Multiple	Yes	36.1	\tilde{b}_1	Forbidden	0.58-0.82	$m(\tilde{\nu}_1^0) = 200 \text{ GeV}$	
	$\tilde{b}_1\tilde{b}_1, \tilde{t}_1\tilde{t}_1, M_2 = 2 \times M_1$	Multiple	Yes	36.1	\tilde{t}_1	Forbidden	0.7	-	
		Multiple	Yes	36.1	\tilde{t}_1	Forbidden	0.9	-	
	$\tilde{t}_1\tilde{t}_1, \tilde{t}_1 \rightarrow Wb\tilde{\nu}_1^0$ or $\tilde{t}_1\tilde{t}_1^0$	0-2 e, μ	0-2 jets/1-2 b	Yes	36.1	\tilde{t}_1	Forbidden	1.0	$m(\tilde{\nu}_1^0) = 150 \text{ GeV}$
		Multiple	Multiple	Yes	36.1	\tilde{t}_1	Forbidden	0.4-0.9	$m(\tilde{\nu}_1^0) = 300 \text{ GeV}$
$\tilde{t}_1\tilde{t}_1, \tilde{t}_1 \rightarrow c\tilde{\nu}_1^0/\tilde{\nu}_1^+$	Multiple	Multiple	Yes	36.1	\tilde{t}_1	Forbidden	0.6-0.8	$m(\tilde{\nu}_1^0) = 150 \text{ GeV}$	
	Multiple	Multiple	Yes	36.1	\tilde{t}_1	Forbidden	0.46-0.84	-	
$\tilde{t}_1\tilde{t}_1, \text{Well-Tempered LSP}$	0	2 c	Yes	36.1	\tilde{t}_1	0.46	0.85	-	
	0	mono-jet	Yes	36.1	\tilde{t}_1	0.43	-	-	
$\tilde{t}_2\tilde{t}_2, \tilde{t}_2 \rightarrow \tilde{t}_1 + h$	1-2 e, μ	4 b	Yes	36.1	\tilde{t}_2	0.32-0.88	-	$m(\tilde{\nu}_1^0) = 150 \text{ GeV}$	
	-	-	-	-	-	-	-	-	
EW direct	$\tilde{\chi}_1^0\tilde{\chi}_2^0$ via WZ	2-3 e, μ	-	Yes	36.1	$\tilde{\chi}_1^0/\tilde{\chi}_2^0$	0.17	0.6	
		$e\bar{e}, \mu\bar{\mu}$	≥ 1	Yes	36.1	$\tilde{\chi}_1^0/\tilde{\chi}_2^0$	0.17	0.6	
	$\tilde{\chi}_1^0\tilde{\chi}_2^0$ via Wh	$\ell\ell\gamma\gamma/\ell b\bar{b}$	-	Yes	20.3	$\tilde{\chi}_1^0/\tilde{\chi}_2^0$	0.26	0.76	
		2 τ	-	Yes	36.1	$\tilde{\chi}_1^0/\tilde{\chi}_2^0$	0.22	0.5	
$\tilde{\chi}_1^0\tilde{\chi}_1^0/\tilde{\chi}_2^0, \tilde{\chi}_1^0 \rightarrow \tilde{\nu}_1^0(\tilde{\nu}_1^+), \tilde{\chi}_2^0 \rightarrow \tilde{\nu}_1^0(\tilde{\nu}_1^+)$	2 τ	-	Yes	36.1	$\tilde{\chi}_1^0/\tilde{\chi}_2^0$	0.22	0.5		
	2 e, μ	0	Yes	36.1	$\tilde{\chi}_1^0/\tilde{\chi}_2^0$	0.18	0.5		
$\tilde{\chi}_1^0\tilde{\chi}_1^0, \tilde{\chi}_1^0 \rightarrow \tilde{\nu}_1^0(\tilde{\nu}_1^+)$	2 e, μ	≥ 1	Yes	36.1	$\tilde{\chi}_1^0$	0.18	0.5		
	4 e, μ	$\geq 3b$	Yes	36.1	$\tilde{\chi}_1^0$	0.13-0.23	0.29-0.88		
Long-lived particles	Direct $\tilde{\chi}_1^0\tilde{\chi}_1^0$ prod., long-lived $\tilde{\chi}_1^+$	Disapp. trk	1 jet	Yes	36.1	$\tilde{\chi}_1^+$	0.15	0.46	
		-	-	-	-	-	-	-	
RPV	LFV $pp \rightarrow \tilde{\nu}_i + X, \tilde{\nu}_i \rightarrow e\mu/\tau\mu/\mu\tau$	$e\mu, \tau\mu$	-	-	3.2	$\tilde{\nu}_i$	-	1.9	
		4 e, μ	0	Yes	36.1	$\tilde{\chi}_1^0/\tilde{\chi}_2^0$ [$A_{333} \neq 0, A_{122} \neq 0$]	0.82	1.33	
	$\tilde{\chi}_1^0\tilde{\chi}_1^0/\tilde{\chi}_2^0 \rightarrow WWZZ\ell\ell\nu\nu$	Multiple	Multiple	Yes	36.1	$\tilde{\chi}_1^0/\tilde{\chi}_2^0$ [$M_{121}^0 = 200 \text{ GeV}, 1100 \text{ GeV}$]	1.05	1.3	
		Multiple	Multiple	Yes	36.1	$\tilde{\chi}_1^0/\tilde{\chi}_2^0$ [$M_{121}^0 = 20-4, 20-5$]	1.05	2.0	
$\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g} \rightarrow t\bar{b}s/\tilde{g} \rightarrow t\bar{t}\tilde{\nu}_1^0, \tilde{\chi}_1^0 \rightarrow t\bar{b}s$	Multiple	Multiple	Yes	36.1	\tilde{g} [$M_{223}^0 = 1, 10-2$]	1.8	2.1		
	Multiple	Multiple	Yes	36.1	\tilde{g} [$M_{223}^0 = 20-4, 10-2$]	0.55	1.05		
$\tilde{t}_1\tilde{t}_1, \tilde{t}_1 \rightarrow t\bar{b}s$	0	2 jets + 2 b	-	36.7	\tilde{t}_1 [$qq, b\bar{s}$]	0.42	0.61		
	2 e, μ	2 b	-	36.1	\tilde{t}_1	-	0.4-1.45		

ATLAS Preliminary
 $\sqrt{s} = 7, 8, 13 \text{ TeV}$

SUSY or not SUSY?

Selected CMS SUSY Results* - SMS Interpretation

ICHEP '16 - Moriond '17

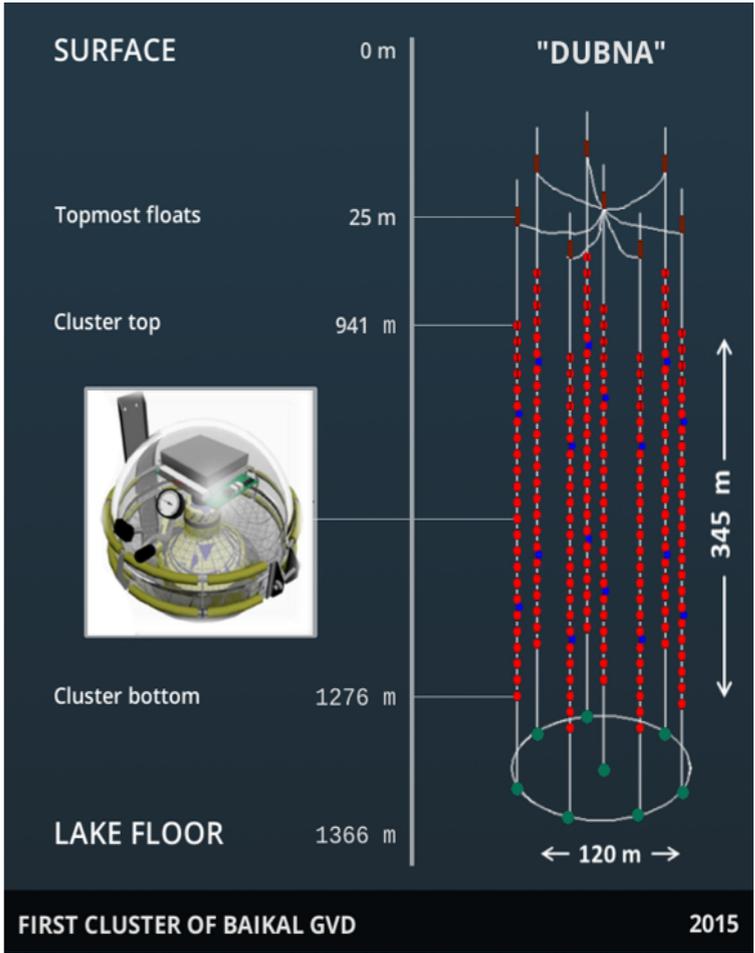
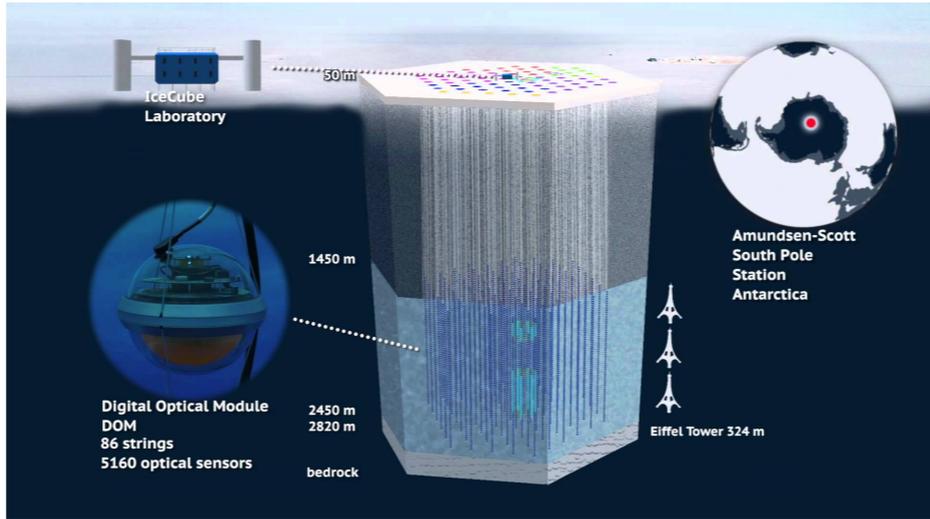
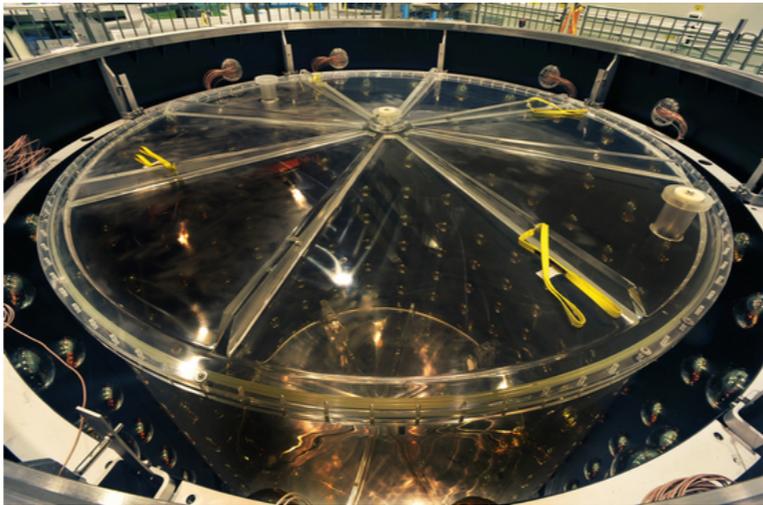
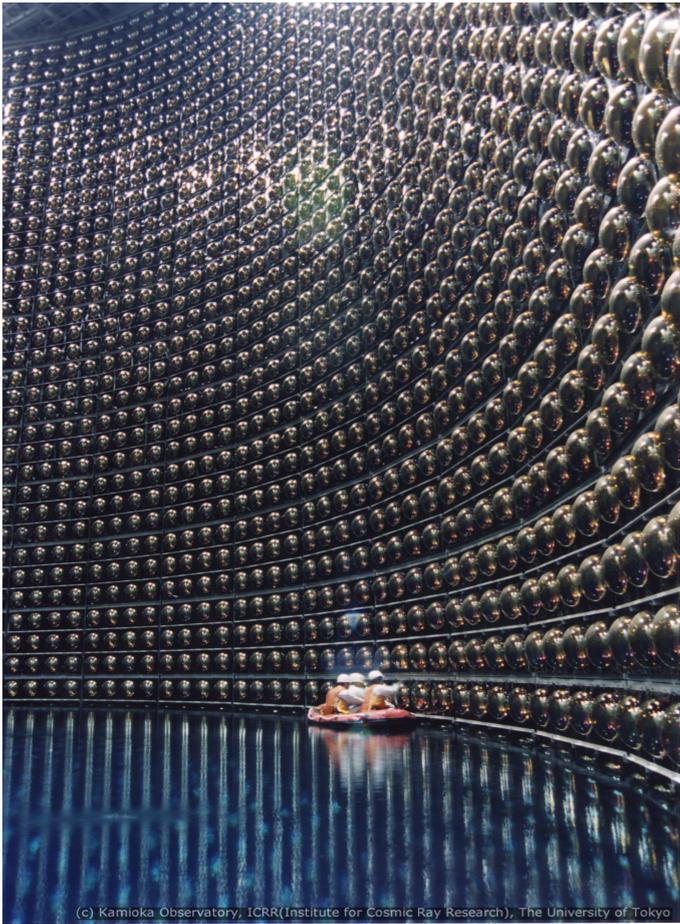


*Only a selection of the available mass limits on new states or phenomena is shown. Many of the limits are based on simplified models, c.f. refs. for the assumptions made.

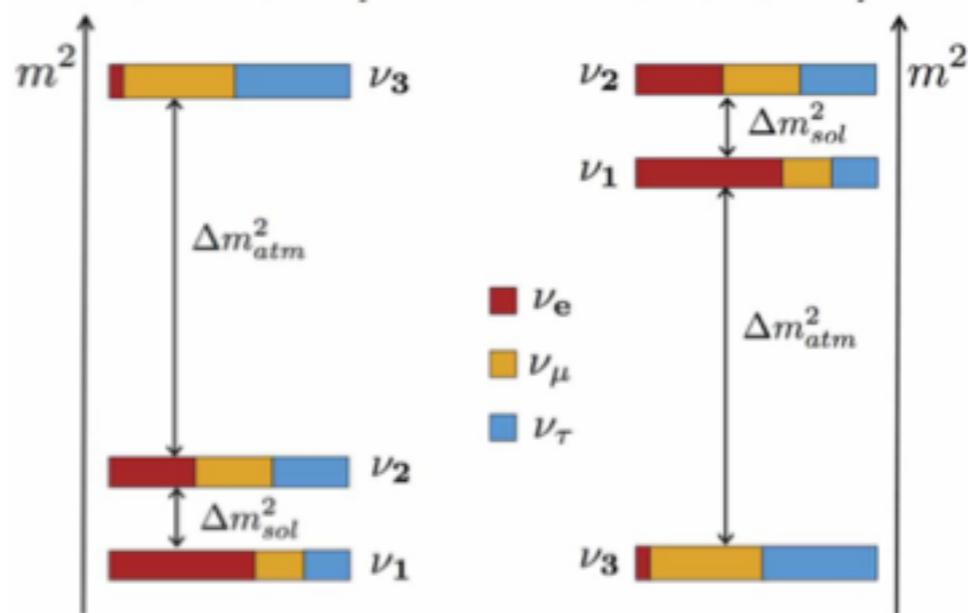
- Отсутствие суперсимметрии -> послание с LHC
- В наилучших/крайних сценариях мы исключаем глюино до O(2)/O(1) ТэВ
- скварки до O(1.5)/O(0.5) ТэВ
- стоп и сботтом до O(1)/O(0.7) ТэВ
- Электрослабые частицы до O(0.5-1)/O(0.1) ТэВ

- Области параметров ещё не все охвачены
- Следующий шаг состоит в полном анализе данных из Run 2 (150 fb-1)
- Закрывать все возможные области пространства параметров

Физика нейтрино

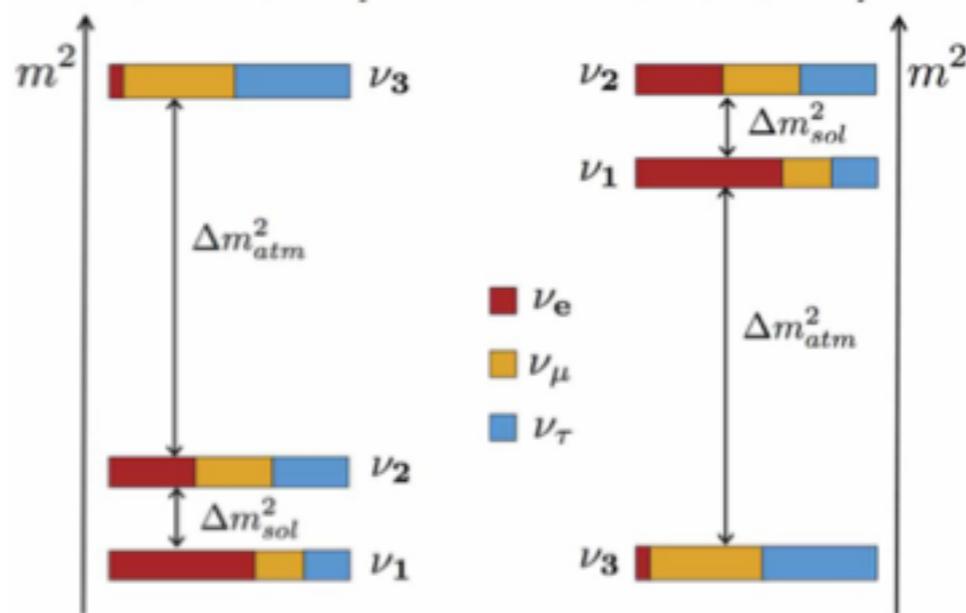


Neutrino Physics



parameter	best fit $\pm 1\sigma$	3σ range
Δm^2_{21} [10^{-5}eV^2]	$7.55^{+0.20}_{-0.16}$	7.05–8.14
$ \Delta m^2_{31} $ [10^{-3}eV^2] (NO)	2.50 ± 0.03	2.41–2.60
$ \Delta m^2_{31} $ [10^{-3}eV^2] (IO)	$2.42^{+0.03}_{-0.04}$	2.31–2.51
$\sin^2 \theta_{12}/10^{-1}$	$3.20^{+0.20}_{-0.16}$	2.73–3.79
$\sin^2 \theta_{23}/10^{-1}$ (NO)	$5.47^{+0.20}_{-0.30}$	4.45–5.99
$\sin^2 \theta_{23}/10^{-1}$ (IO)	$5.51^{+0.18}_{-0.30}$	4.53–5.98
$\sin^2 \theta_{13}/10^{-2}$ (NO)	$2.160^{+0.083}_{-0.069}$	1.96–2.41
$\sin^2 \theta_{13}/10^{-2}$ (IO)	$2.220^{+0.074}_{-0.076}$	1.99–2.44
δ/π (NO)	$1.32^{+0.21}_{-0.15}$	0.87–1.94
δ/π (IO)	$1.56^{+0.13}_{-0.15}$	1.12–1.94

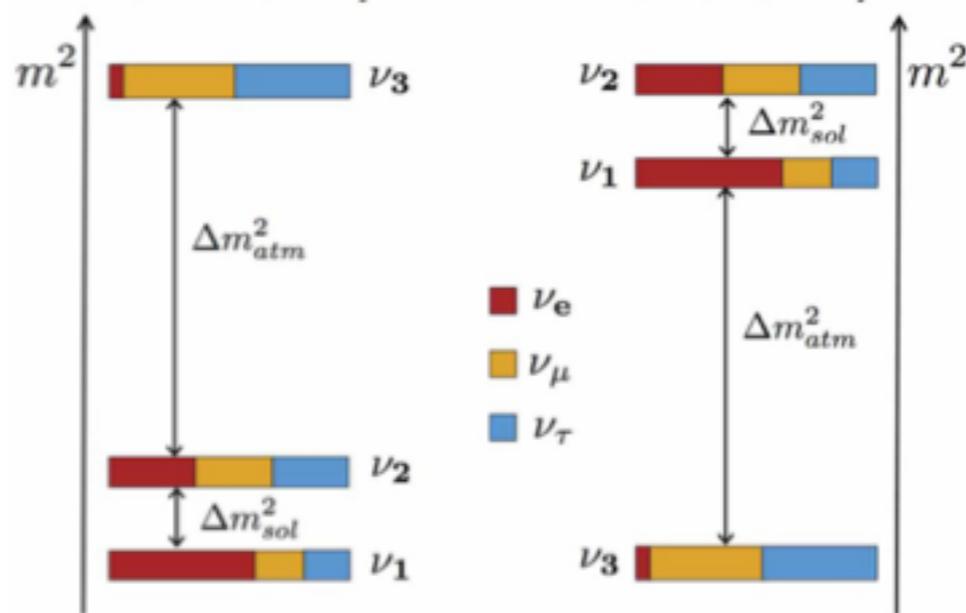
Neutrino Physics



- Абсолютные значения нейтринных масс?
- Иерархия масс?
- Дираковские или майорановские?
- Старильное нейтрино?
- Нейтринная тёмная материя?

parameter	best fit $\pm 1\sigma$	3σ range
Δm_{21}^2 [10^{-5}eV^2]	$7.55^{+0.20}_{-0.16}$	7.05–8.14
$ \Delta m_{31}^2 $ [10^{-3}eV^2] (NO)	2.50 ± 0.03	2.41–2.60
$ \Delta m_{31}^2 $ [10^{-3}eV^2] (IO)	$2.42^{+0.03}_{-0.04}$	2.31–2.51
$\sin^2 \theta_{12}/10^{-1}$	$3.20^{+0.20}_{-0.16}$	2.73–3.79
$\sin^2 \theta_{23}/10^{-1}$ (NO)	$5.47^{+0.20}_{-0.30}$	4.45–5.99
$\sin^2 \theta_{23}/10^{-1}$ (IO)	$5.51^{+0.18}_{-0.30}$	4.53–5.98
$\sin^2 \theta_{13}/10^{-2}$ (NO)	$2.160^{+0.083}_{-0.069}$	1.96–2.41
$\sin^2 \theta_{13}/10^{-2}$ (IO)	$2.220^{+0.074}_{-0.076}$	1.99–2.44
δ/π (NO)	$1.32^{+0.21}_{-0.15}$	0.87–1.94
δ/π (IO)	$1.56^{+0.13}_{-0.15}$	1.12–1.94

Neutrino Physics



- Абсолютные значения нейтринных масс?
- Иерархия масс?
- Дираковские или майорановские?
- Старильное нейтрино?
- Нейтринная тёмная материя?

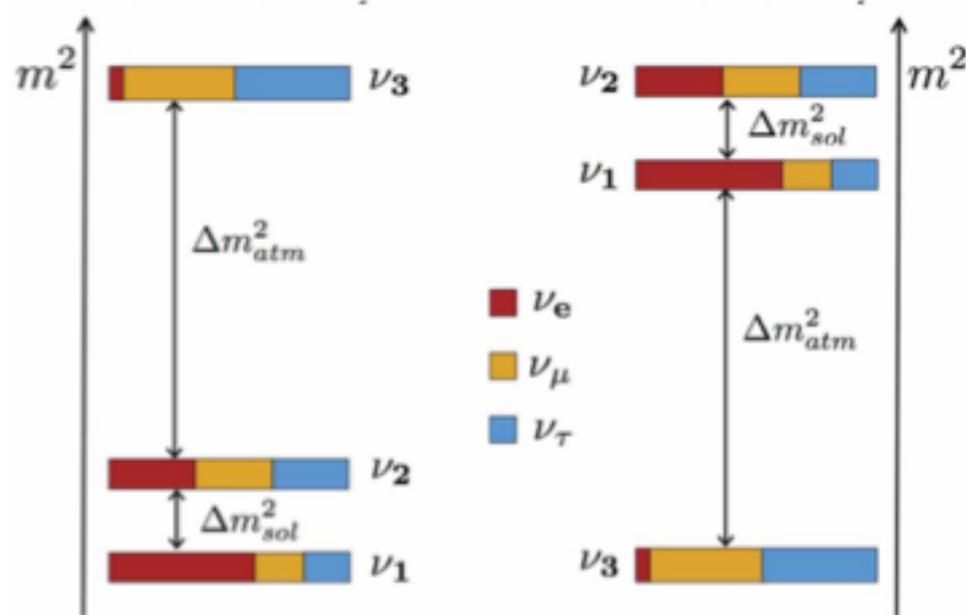
$$0.06 \text{ eV} < \sum m_\nu < 0.12 \text{ eV}$$

↑
↑
ν-OSC
CMB

PMNS-матрица смешивания измерена с точностью до нескольких %

parameter	best fit $\pm 1\sigma$	3σ range
Δm_{21}^2 [10^{-5}eV^2]	$7.55^{+0.20}_{-0.16}$	7.05–8.14
$ \Delta m_{31}^2 $ [10^{-3}eV^2] (NO)	2.50 ± 0.03	2.41–2.60
$ \Delta m_{31}^2 $ [10^{-3}eV^2] (IO)	$2.42^{+0.03}_{-0.04}$	2.31–2.51
$\sin^2 \theta_{12} / 10^{-1}$	$3.20^{+0.20}_{-0.16}$	2.73–3.79
$\sin^2 \theta_{23} / 10^{-1}$ (NO)	$5.47^{+0.20}_{-0.30}$	4.45–5.99
$\sin^2 \theta_{23} / 10^{-1}$ (IO)	$5.51^{+0.18}_{-0.30}$	4.53–5.98
$\sin^2 \theta_{13} / 10^{-2}$ (NO)	$2.160^{+0.083}_{-0.069}$	1.96–2.41
$\sin^2 \theta_{13} / 10^{-2}$ (IO)	$2.220^{+0.074}_{-0.076}$	1.99–2.44
δ / π (NO)	$1.32^{+0.21}_{-0.15}$	0.87–1.94
δ / π (IO)	$1.56^{+0.13}_{-0.15}$	1.12–1.94

Neutrino Physics



- Абсолютные значения нейтринных масс?
- Иерархия масс?
- Дираковские или майорановские?
- Старильное нейтрино?
- Нейтринная тёмная материя?

$$0.06 \text{ eV} < \sum m_\nu < 0.12 \text{ eV}$$

↑
↑
 ν -OSC
CMB

PMNS-матрица смешивания измерена с точностью до нескольких %

- Нормальная иерархия предпочтительнее на уровне 3.1σ
- Ненулевая CP фаза предпочтительнее
- Верхний октант предпочтительнее

parameter	best fit $\pm 1\sigma$	3σ range
Δm_{21}^2 [10^{-5}eV^2]	$7.55^{+0.20}_{-0.16}$	7.05–8.14
$ \Delta m_{31}^2 $ [10^{-3}eV^2] (NO)	2.50 ± 0.03	2.41–2.60
$ \Delta m_{31}^2 $ [10^{-3}eV^2] (IO)	$2.42^{+0.03}_{-0.04}$	2.31–2.51
$\sin^2 \theta_{12}/10^{-1}$	$3.20^{+0.20}_{-0.16}$	2.73–3.79
$\sin^2 \theta_{23}/10^{-1}$ (NO)	$5.47^{+0.20}_{-0.30}$	4.45–5.99
$\sin^2 \theta_{23}/10^{-1}$ (IO)	$5.51^{+0.18}_{-0.30}$	4.53–5.98
$\sin^2 \theta_{13}/10^{-2}$ (NO)	$2.160^{+0.083}_{-0.069}$	1.96–2.41
$\sin^2 \theta_{13}/10^{-2}$ (IO)	$2.220^{+0.074}_{-0.076}$	1.99–2.44
δ/π (NO)	$1.32^{+0.21}_{-0.15}$	0.87–1.94
δ/π (IO)	$1.56^{+0.13}_{-0.15}$	1.12–1.94

Всего лишь СМ или требуется Новая физика?

Три типа механизма «качелей»

Требуют существования новых степеней свободы (частиц) помимо СМ

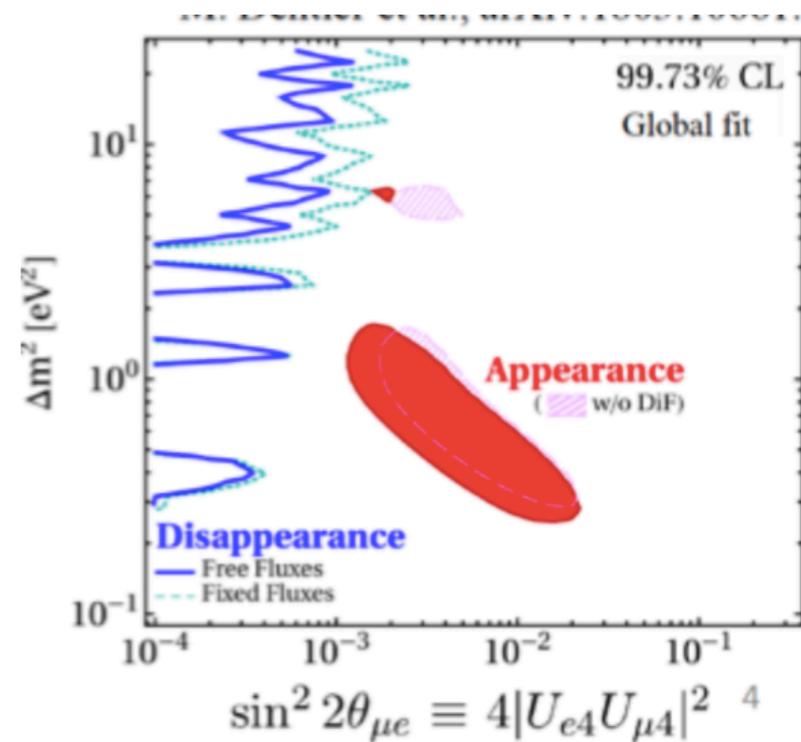
Тип I: ν_{IR} - RH $\nu s'$ (тяжёлые).

Тип II: $H(x)$ - триплет H^0, H^-, H^{--} Хиггсовских полей

Тип III: $T(x)$ - триплет фермионных полей

Возможные стерильные нейтрино?

- Новый MiniBooNE согласуется с LSND
- Реакторная аномалия, но несогласие с DayaBay/RENO временной зависимостью
- Новый результаты SBL с источниками
- Конфликты с появлением мюонных нейтрино



Всего лишь СМ или требуется Новая физика?

Три типа механизма «качелей»

Требуют существования новых степеней свободы (и) помимо СМ

Тип I: ν_{IR} - RH $\nu s'$ (тяжёлые).

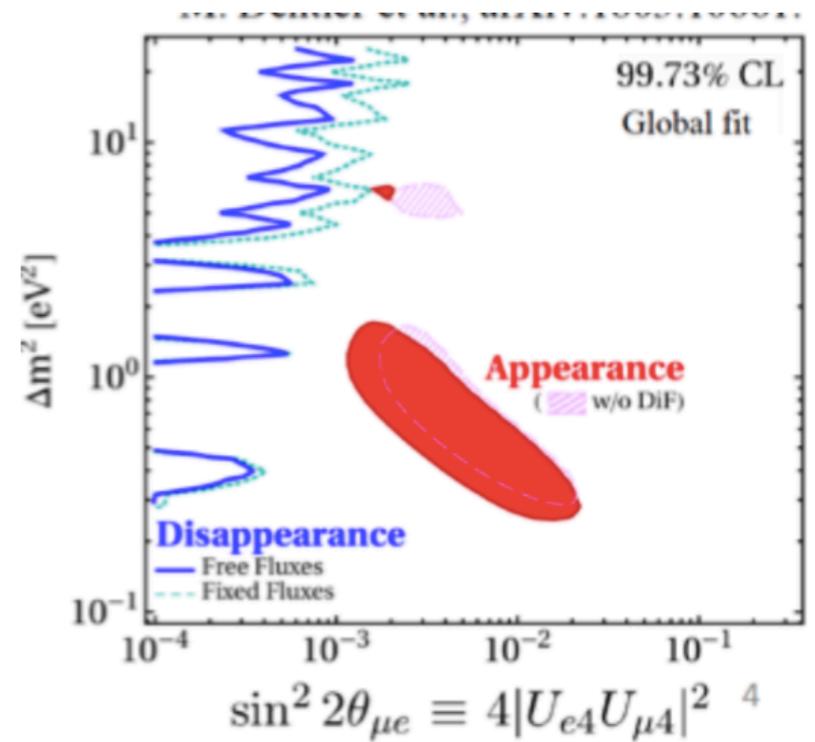
Тип II: $H(x)$ - триплет H^0 и H^\pm скалярных полей

Тип III: $T(x)$ - триплет T^0 и T^\pm фермионных полей

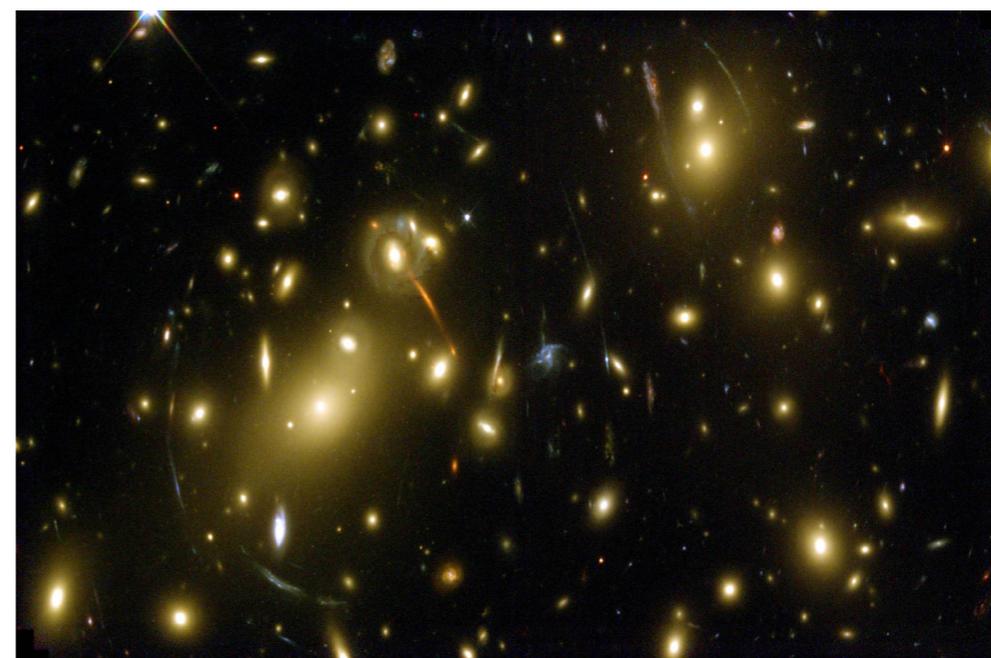
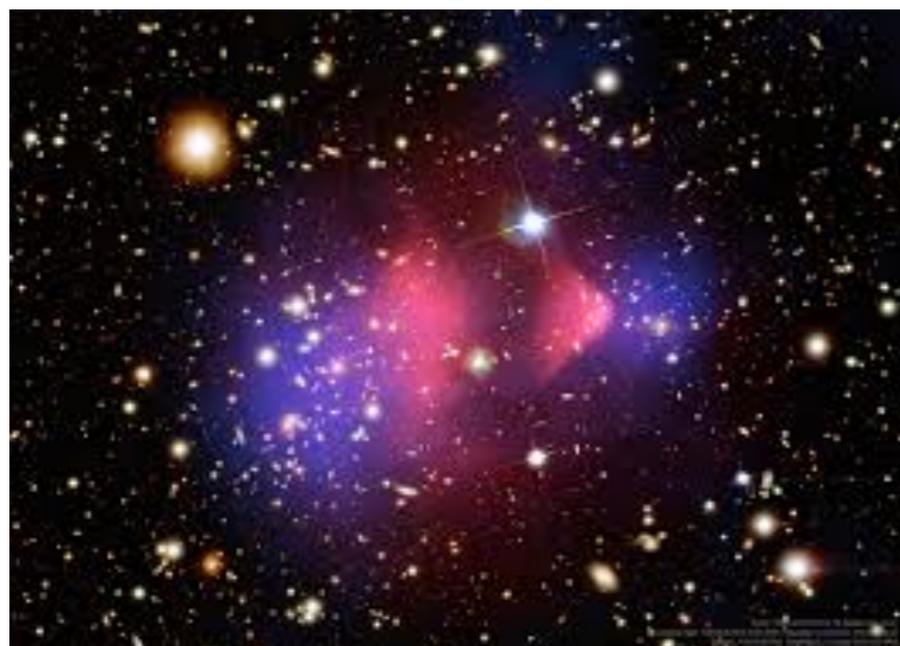
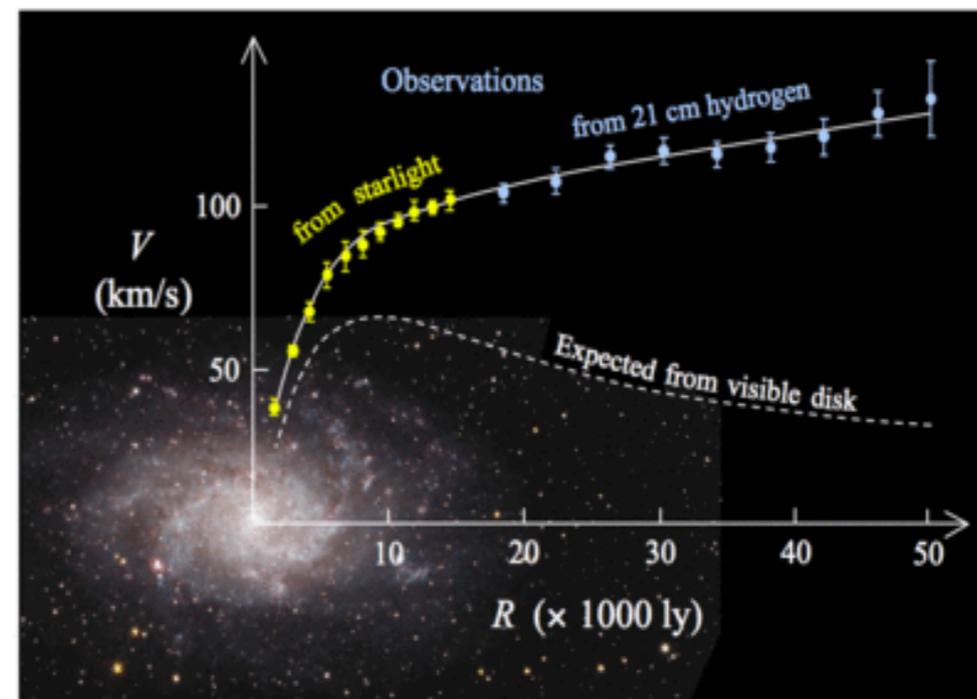
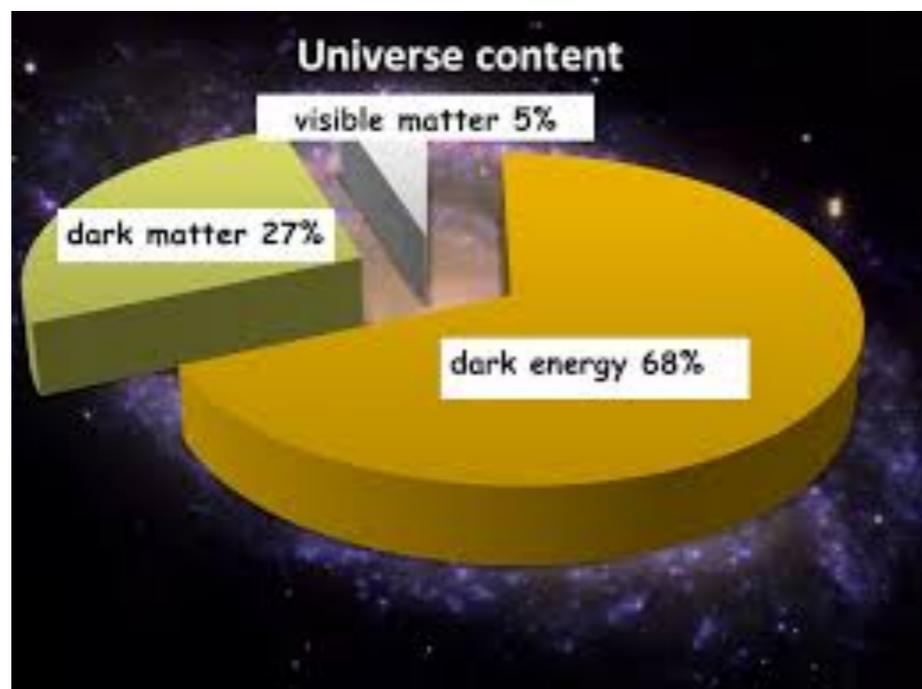
JINR: BAIKAL GVD, JUNO, Daya Bay, Borexino
NOVA, GERDA, SuperNeutrino

Возможные стерильные нейтрино?

- Новый MiniBooNE согласуется с LSND
- Реакторная аномалия, но несогласие с DayaBay/RENO временной зависимостью
- Новый результаты SBL с источниками
- Конфликты с появлением мюонных нейтрино



Тёмная материя



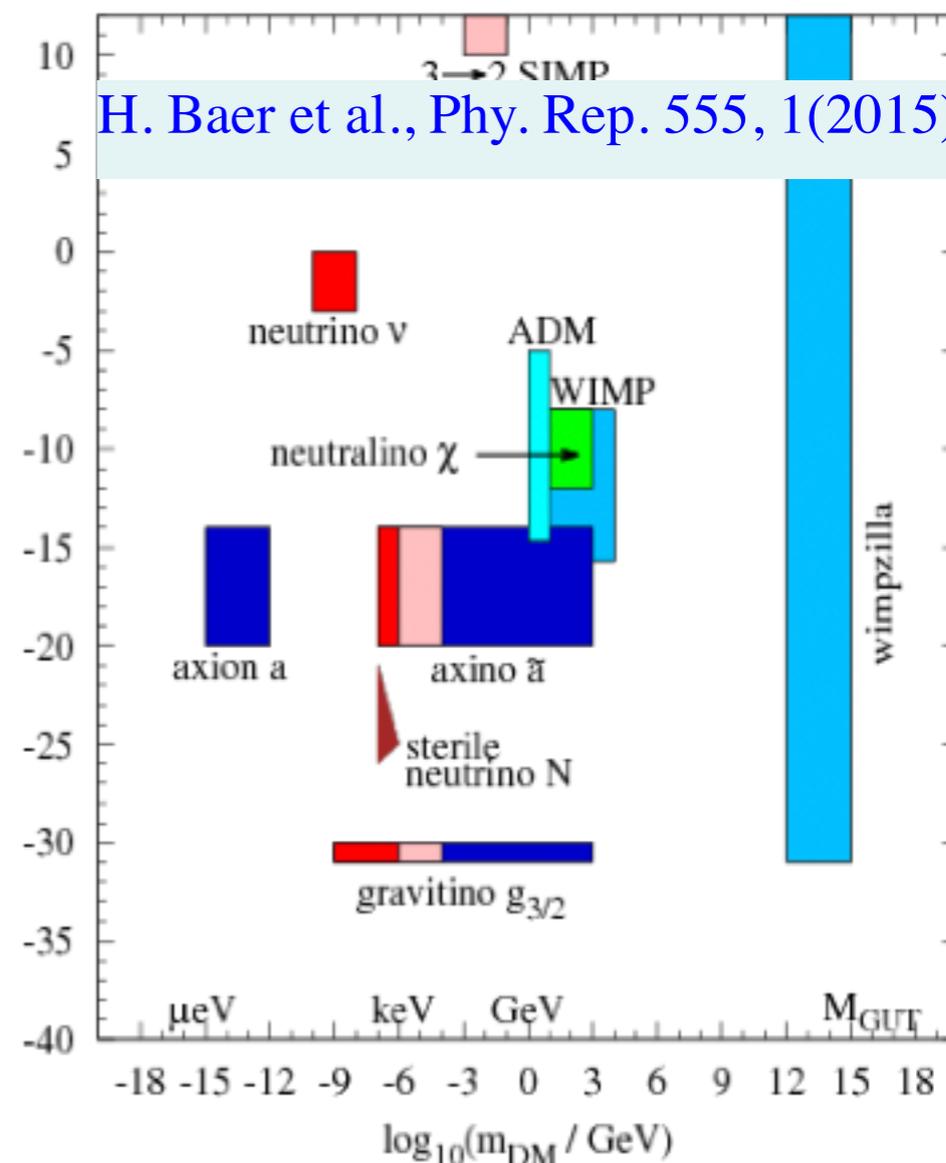
Главная проблема: 85% материи является тёмной и остаётся невидимой!

Совместимо ли это с Стандартной моделью?

Требует ли это модификации СМ или добавление гравитации?

- Много кандидатов в разбросов масс в несколько порядков

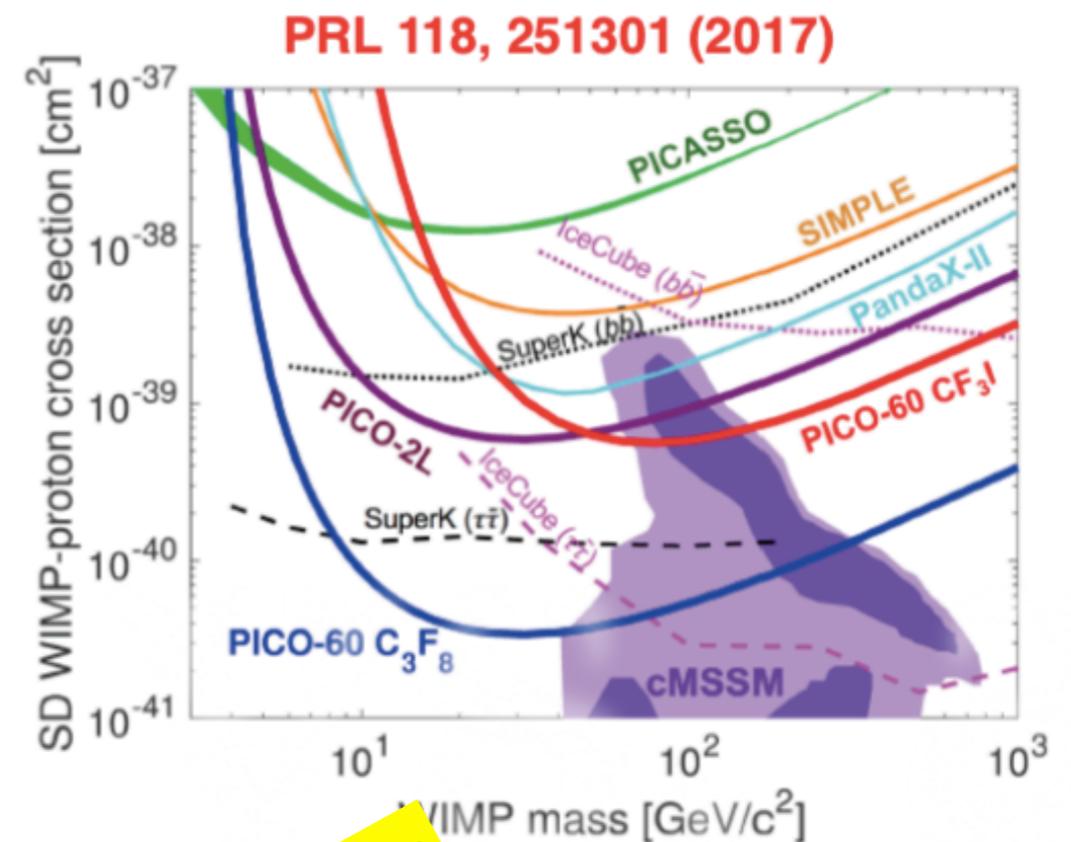
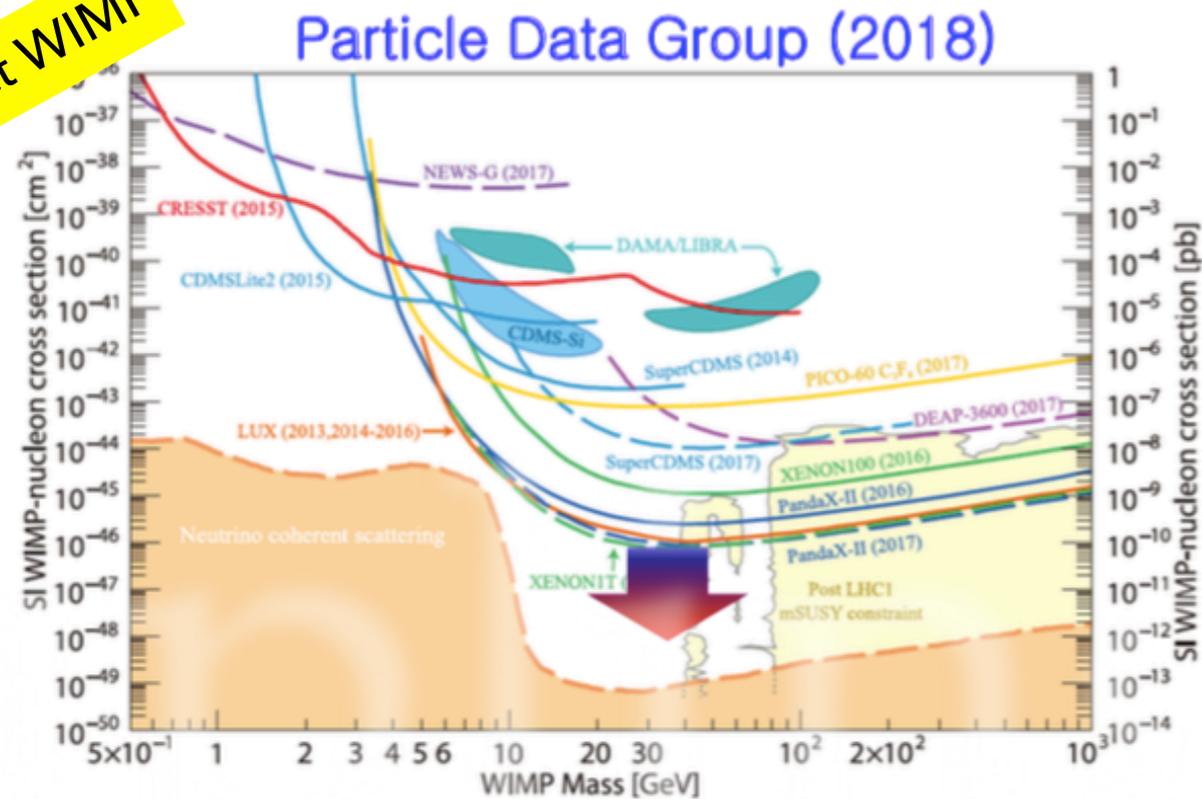
- **MOND** (Problems: large scales, Bullet cluster)
- **Primordial black holes** (LIGO, but constraints)
- **Fuzzy** (very light bosons)
- **Warm** (KeV sterile)
- **WIMP**
- **Axions/ALPs**
- **Dark sector**
- **Gravitinos**
- **Moduli**
- **Wimpzillas**



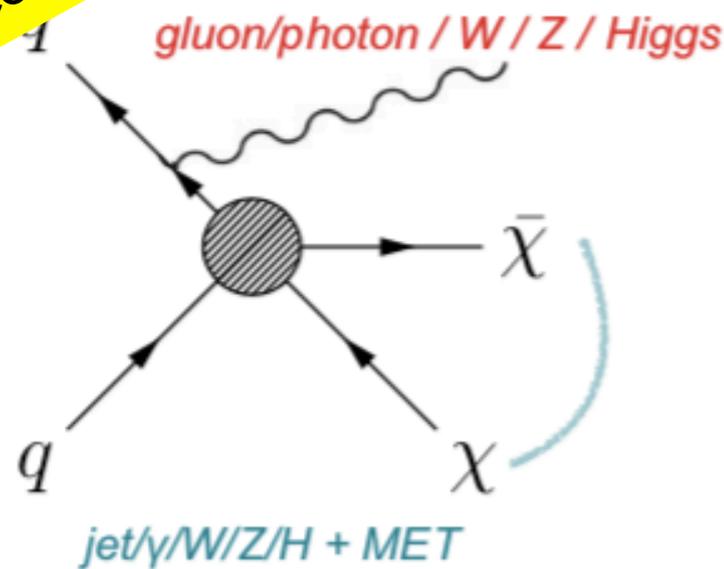
- Прямые, косвенные и коллайдерные поиски тёмной материи

СТАНДАРТНАЯ МОДЕЛЬ: ПУТИ РАЗВИТИЯ - ПОИСК ТЁМНОЙ МАТЕРИИ

Direct WIMP



Colliders WIMP

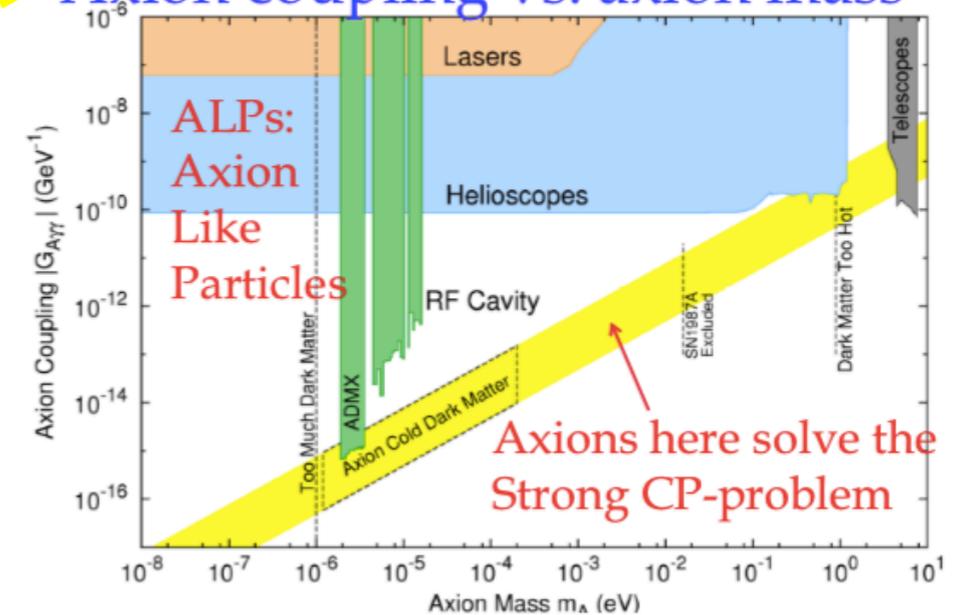


D. del Re

- **mono-jet**
 - most general signature, constraints on many models
- **mono-photon**
 - more challenging for background estimation
 - less powerful: EW vs. strong interaction
- **mono-W/Z leptonic**
 - clean signature and simple trigger
 - penalized by W/Z branching fraction
- **mono-W/Z hadronic**
 - larger statistics with larger background
- **tt+MET/bb+MET and mono-top**
 - more complicated experimentally
 - powerful in some scenarios
- **mono-Higgs**
 - powerful in some scenarios

Axion-likes

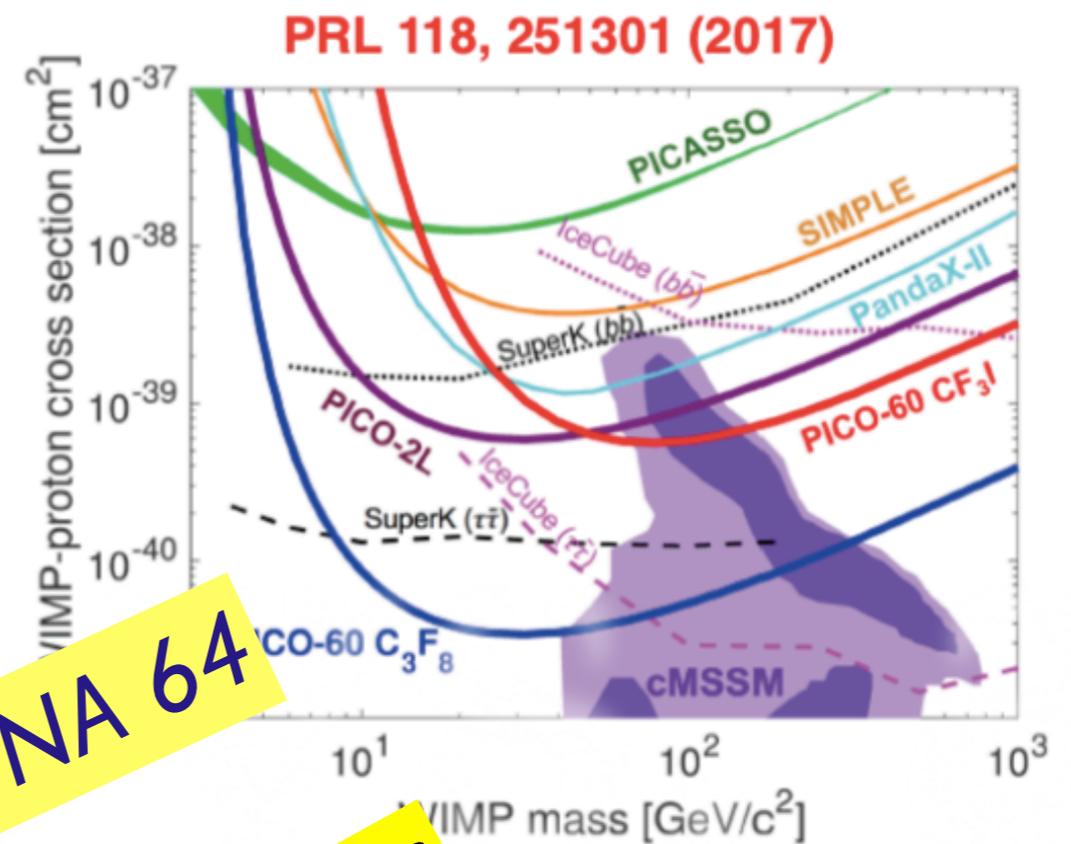
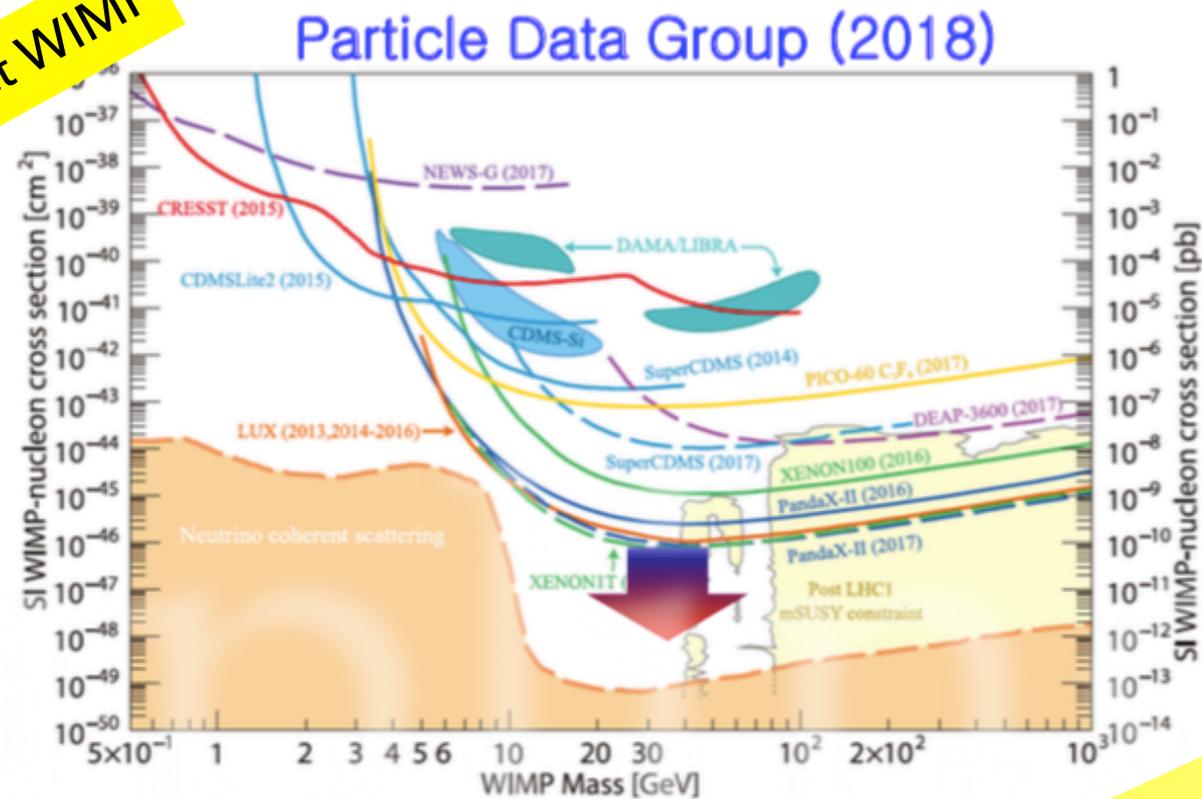
Axion coupling vs. axion mass



Y. Semertzidis

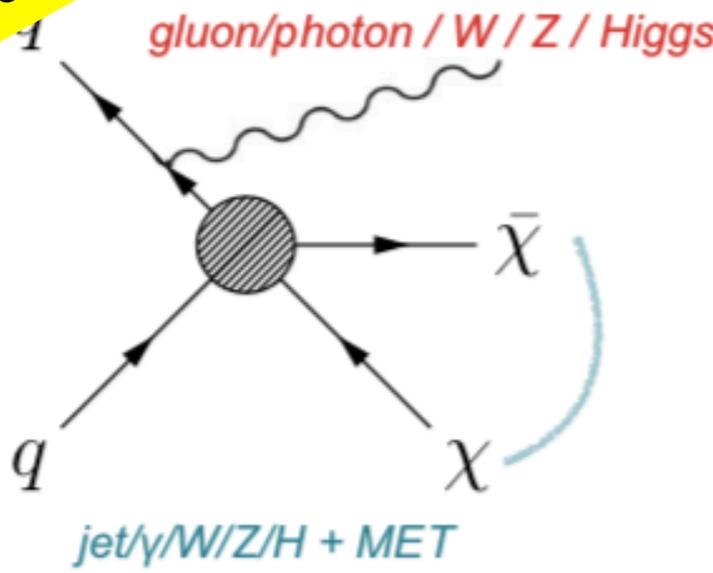
СТАНДАРТНАЯ МОДЕЛЬ: ПУТИ РАЗВИТИЯ - ПОИСК ТЁМНОЙ МАТЕРИИ

Direct WIMP



JINR: Edelweiss, NA 64

Colliders WIMP

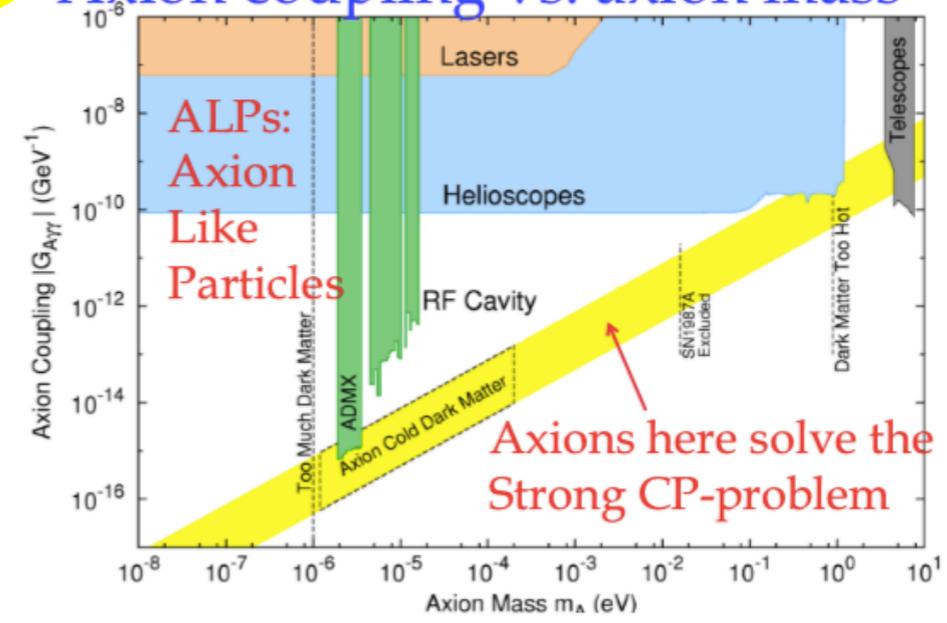


- signature, constraints on many models
- proton
 - more challenging for background estimation
 - less powerful: EW vs. strong interaction
- mono-W/Z leptonic
 - clean signature and simple trigger
 - penalized by W/Z branching fraction
- mono-W/Z hadronic
 - larger statistics with larger background
- tt+MET/bb+MET and mono-top
 - more complicated experimentally
 - powerful in some scenarios
- mono-Higgs
 - powerful in some scenarios

D. del Re

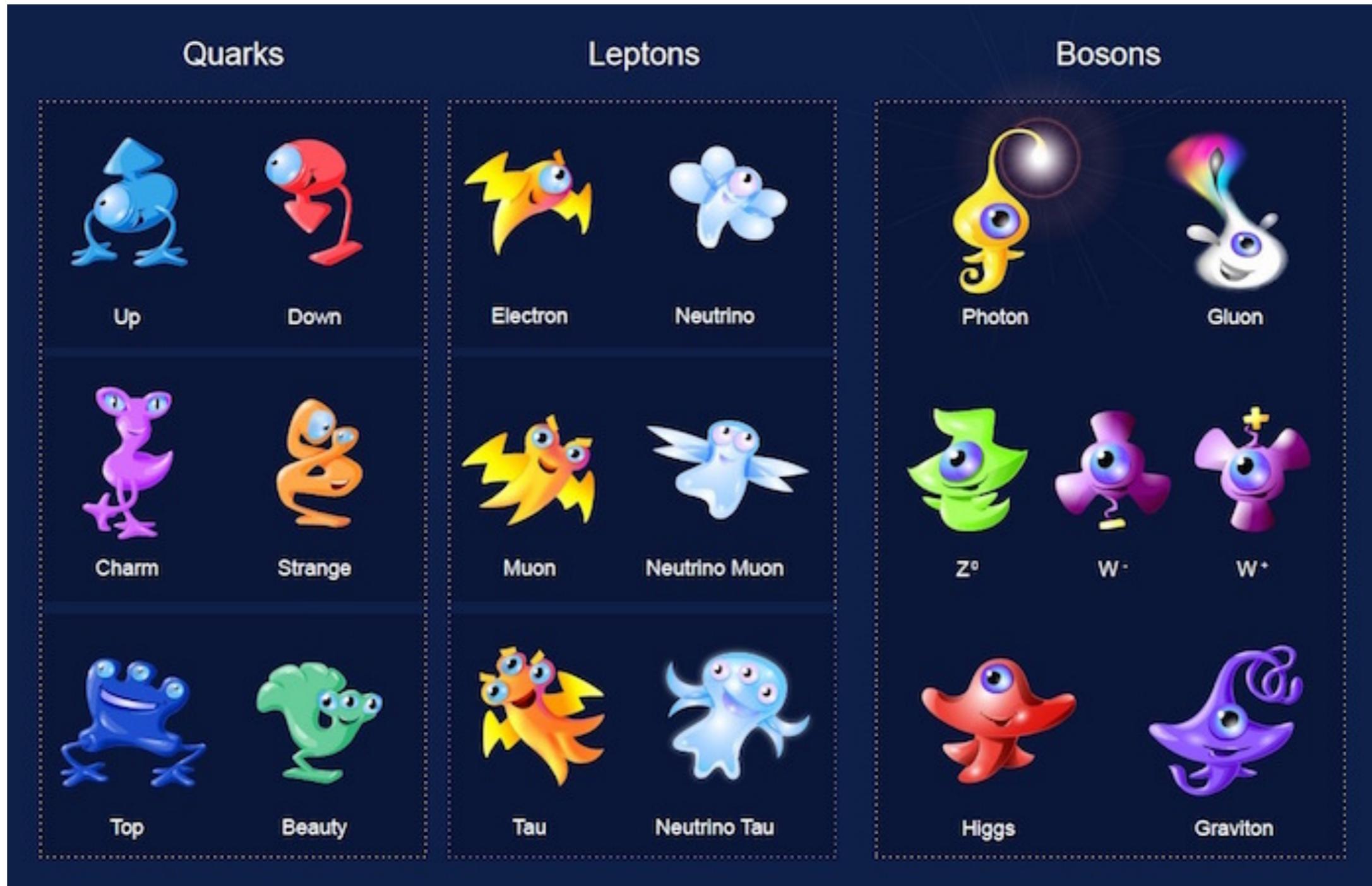
Axion-likes

Axion coupling vs. axion mass



Y. Semertzidis

Сектор Ароматов



• Спектр масс

$$m_{quark} = y_{quark} \cdot v$$

$$m_{lepton} = y_{lepton} \cdot v$$

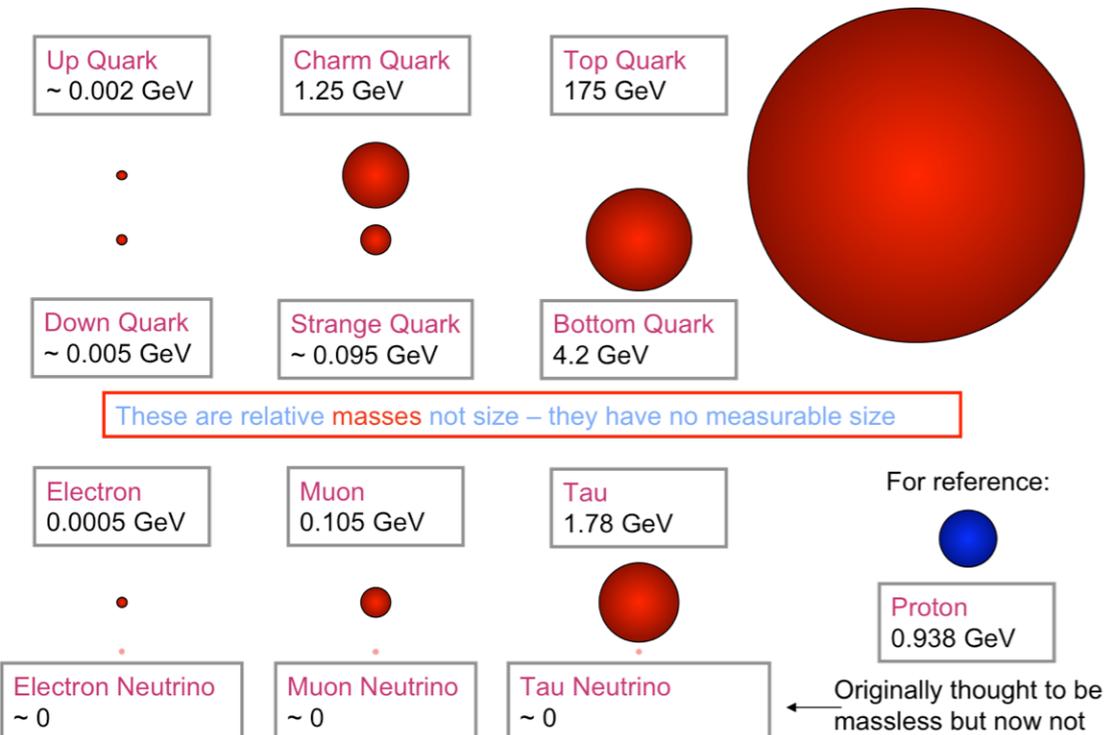
$$m_W = g/\sqrt{2} \cdot v$$

$$m_Z = \sqrt{g^2 + g'^2}/\sqrt{2} \cdot v$$

$$m_H = \sqrt{\lambda} \cdot v$$

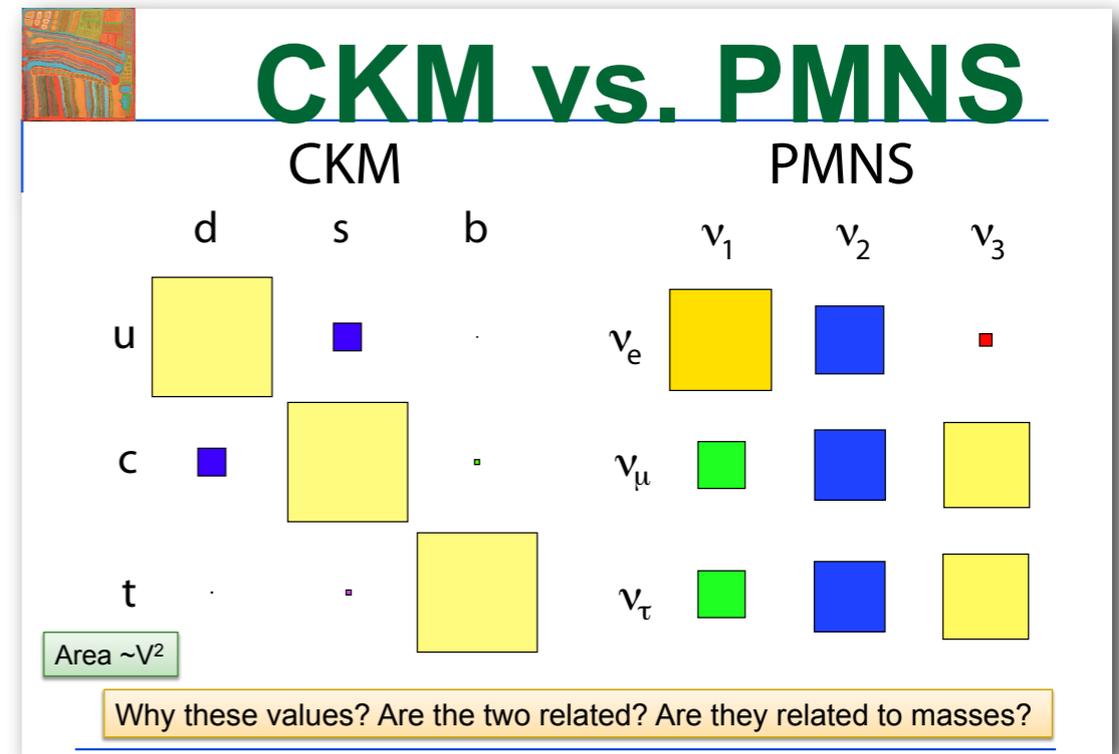
CM $m_\gamma = 0$

$$m_{gluon} = 0$$



• Матрицы смешивания

- Кварк-лептонная симметрия
- Большая разница в параметрах



• Спектр масс

$$m_{quark} = y_{quark} \cdot v$$

$$m_{lepton} = y_{lepton} \cdot v$$

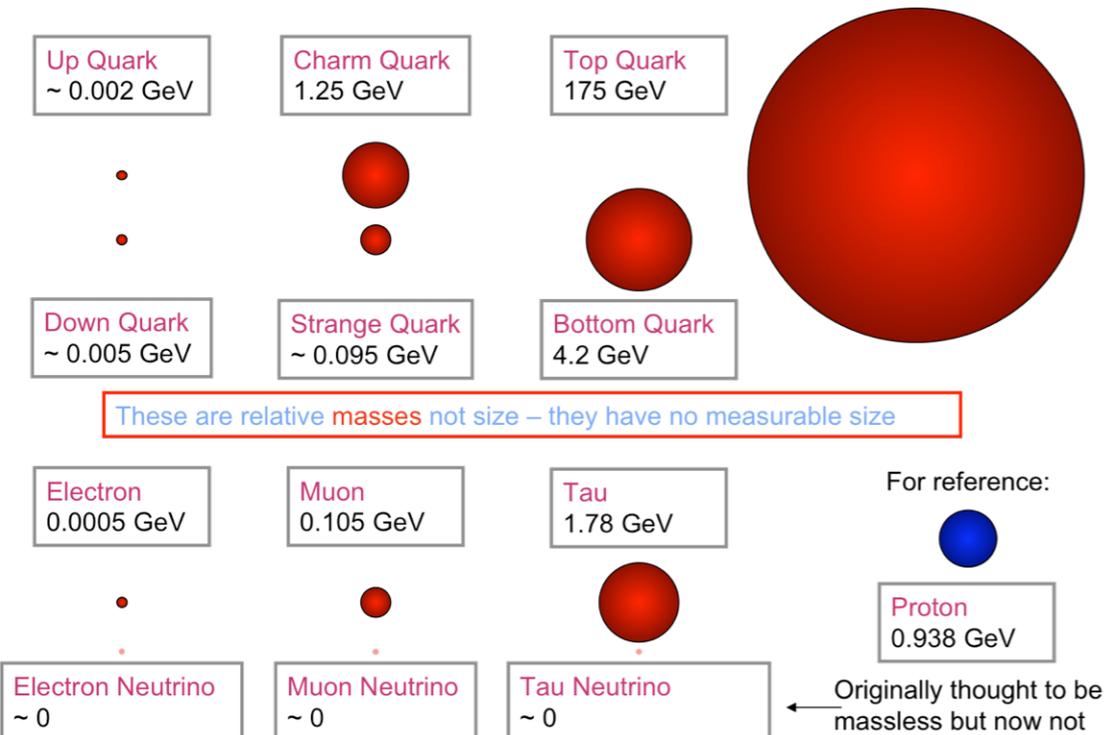
$$m_W = g/\sqrt{2} \cdot v$$

$$m_Z = \sqrt{g^2 + g'^2}/\sqrt{2} \cdot v$$

$$m_H = \sqrt{\lambda} \cdot v$$

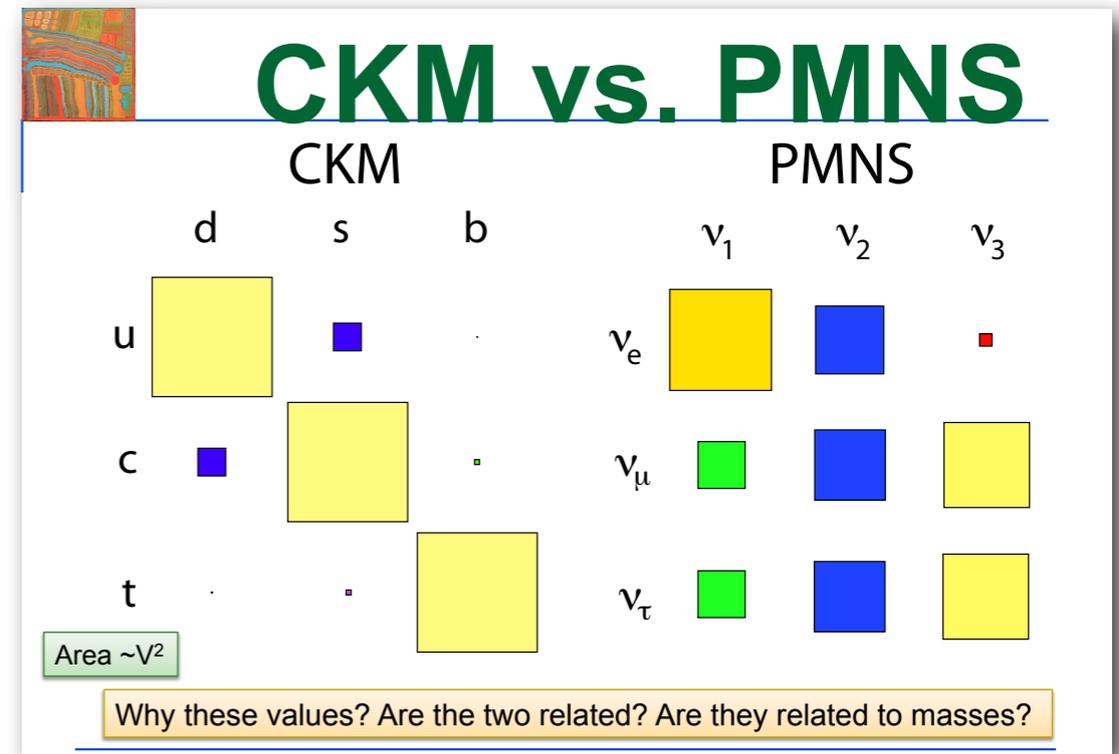
CM $m_\gamma = 0$

$$m_{gluon} = 0$$



• Матрицы смешивания

- Кварк-лептонная симметрия
- Большая разница в параметрах



- Чему равны CP фазы в матрицах CKM и PMNS?
- Где находится источник CP-нарушения: в кварковом или лептонном секторе?

• Спектр масс

$$m_{quark} = y_{quark} \cdot v$$

$$m_{lepton} = y_{lepton} \cdot v$$

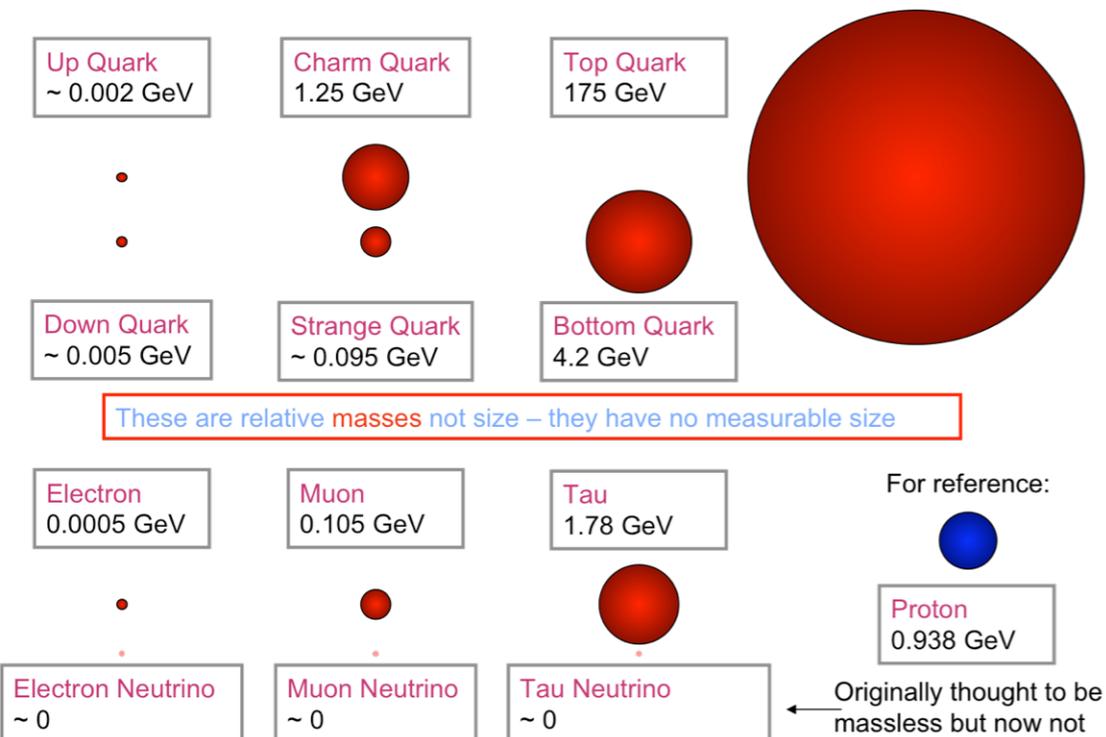
$$m_W = g/\sqrt{2} \cdot v$$

$$m_Z = \sqrt{g^2 + g'^2}/\sqrt{2} \cdot v$$

$$m_H = \sqrt{\lambda} \cdot v$$

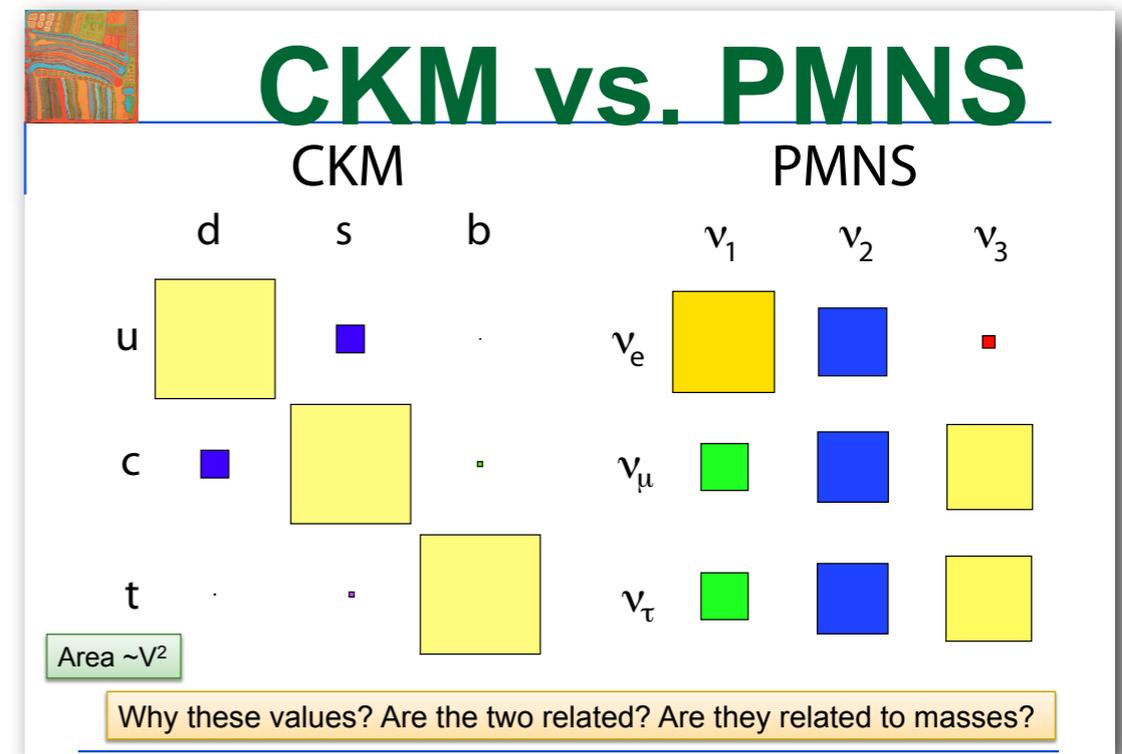
CM $m_\gamma = 0$

$$m_{gluon} = 0$$



• Матрицы смешивания

- Кварк-лептонная симметрия
- Большая разница в параметрах



- Чему равны CP фазы в матрицах CKM и PMNS?
- Где находится источник CP-нарушения: в кварковом или лептонном секторе?

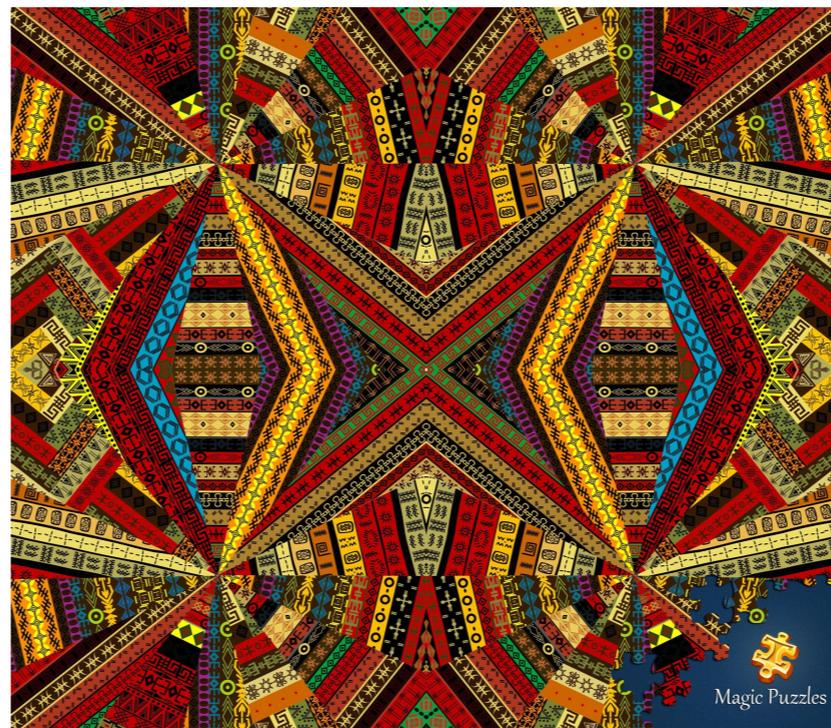
$$J_{CP} = \frac{1}{8} \sin 2\theta_{12} \sin 2\theta_{23} \sin 2\theta_{13} \cos \theta_{13} \sin \delta$$

Поиск новой физики есть поиск новой симметрии Природы!

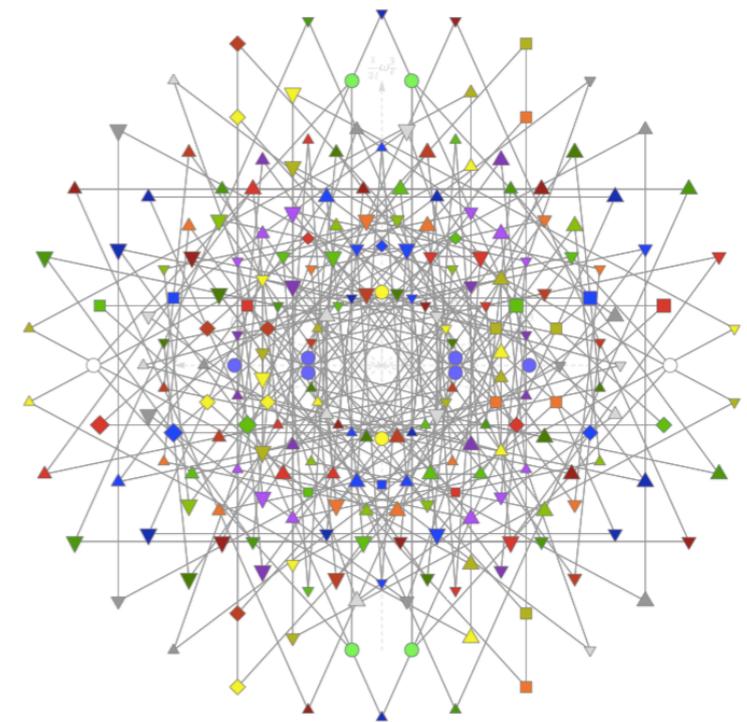
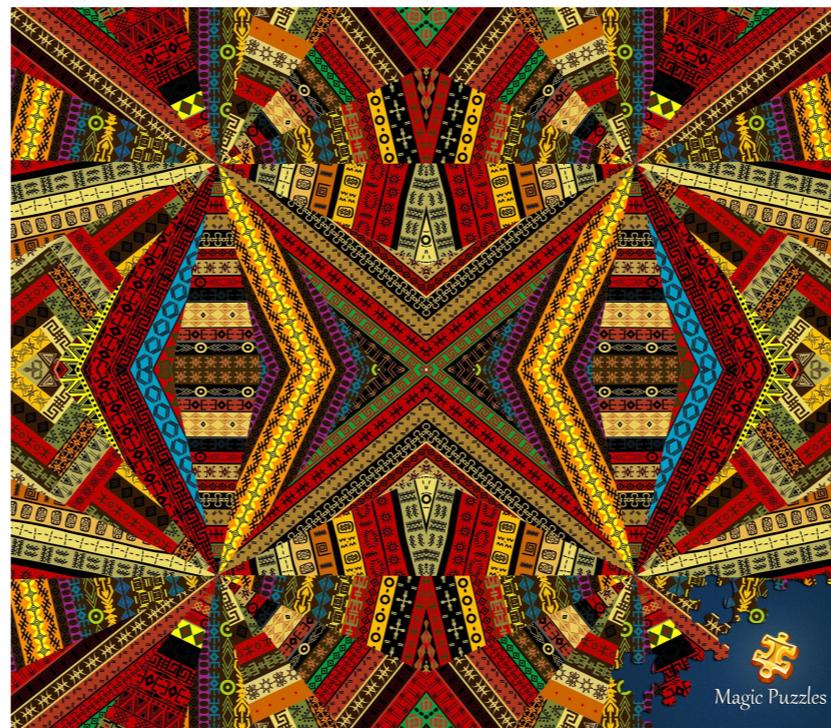
Поиск новой физики есть поиск новой симметрии Природы!



Поиск новой физики есть поиск новой симметрии Природы!

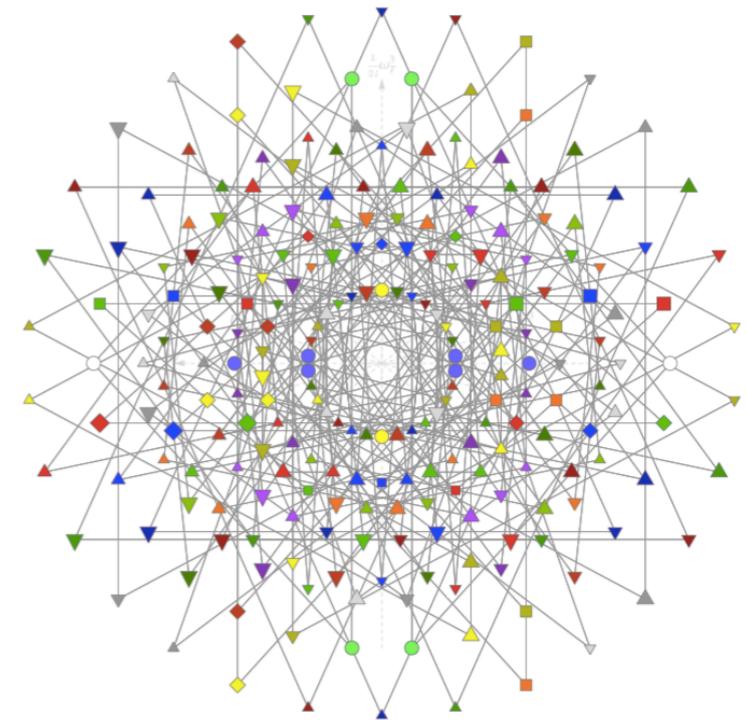
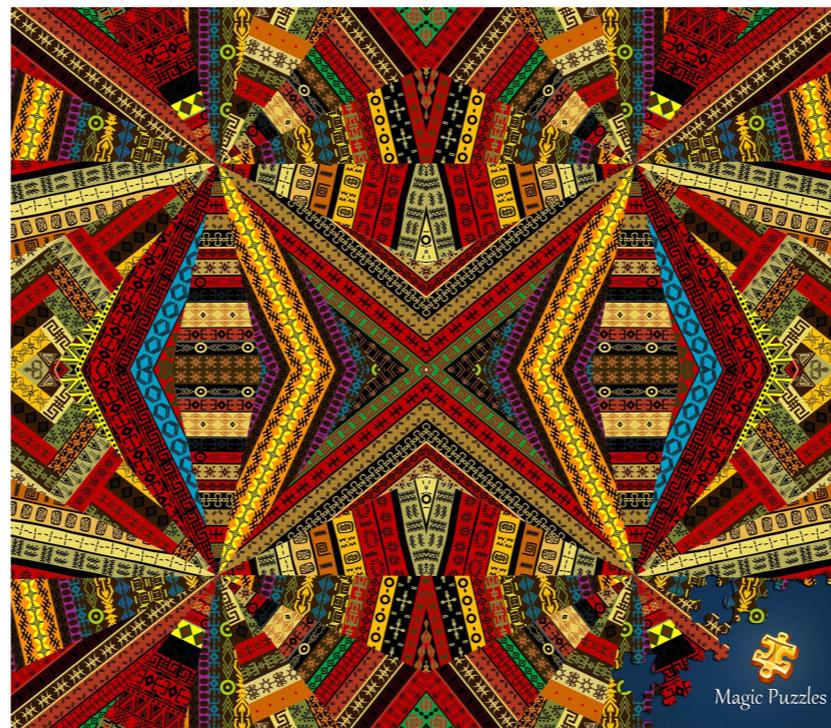


Поиск новой физики есть поиск новой симметрии Природы!



E8 roots

Поиск новой физики есть поиск новой симметрии Природы!



Симметрия может быть очень непростой!

E8 roots

Барионная асимметрия Вселенной



SM expectation:

$$\frac{n_B - n_{\bar{B}}}{n_\gamma} \sim 10^{-18}$$

vs.

Observed*:

$$\frac{n_B - n_{\bar{B}}}{n_\gamma} \sim 10^{-10}$$

Sakharov criteria

1. Baryon number violation
2. C and CP violation
3. Thermal non-equilibrium

Почта СССР 1991 15к
Лауреат Нобелевской премии
А.Д. Сахаров 1921-1989

WMAP

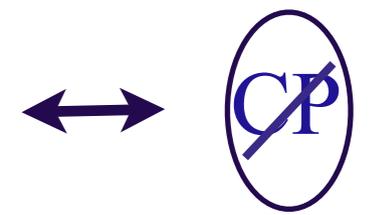
Philipp Schmidt-Wellenburg
APS DPF Meeting, Brown University Providence RI, 9th August 2011
2/23

- Барионное число сохраняется в СМ с экспоненциальной точностью
- Нарушение барионного числа имеет место в Теориях Великого Объединения и в моделях Пати-Салама (лептон = четвертый цвет)
Новые частицы = лептокварки, расширенный хиггсовский сектор

$$B = \frac{N_q - N_{\bar{q}}}{3}$$



- Нарушение CP инвариантности в СМ достигается за счёт фаз в матрицах смешивания CKM и PMNS
- ВАУ требует бо'льшего CP нарушения чем есть в СМ
- Возможен бариогенезис через лептогенезис
- В расширенных моделях (2HDM, SUSY, etc) существуют новые фазовые факторы



ЧТО ЗАСТАВЛЯЕТ НАС ДУМАТЬ ЧТО СУЩЕСТВУЕТ НОВАЯ ФИЗИКА ВНЕ
СТАНДАРТНОЙ МОДЕЛИ?

ЧТО ЗАСТАВЛЯЕТ НАС ДУМАТЬ ЧТО СУЩЕСТВУЕТ НОВАЯ ФИЗИКА ВНЕ
СТАНДАРТНОЙ МОДЕЛИ?

- Небольшие отклонения от экспериментальных данных

ЧТО ЗАСТАВЛЯЕТ НАС ДУМАТЬ ЧТО СУЩЕСТВУЕТ НОВАЯ ФИЗИКА ВНЕ СТАНДАРТНОЙ МОДЕЛИ?

- Небольшие отклонения от экспериментальных данных
- Возможные новые явления в нейтринном секторе (майорановские нейтрино)

ЧТО ЗАСТАВЛЯЕТ НАС ДУМАТЬ ЧТО СУЩЕСТВУЕТ НОВАЯ ФИЗИКА ВНЕ СТАНДАРТНОЙ МОДЕЛИ?

- Небольшие отклонения от экспериментальных данных
- Возможные новые явления в нейтринном секторе (майорановские нейтрино)
- Нестабильность электрослабого вакуума

ЧТО ЗАСТАВЛЯЕТ НАС ДУМАТЬ ЧТО СУЩЕСТВУЕТ НОВАЯ ФИЗИКА ВНЕ СТАНДАРТНОЙ МОДЕЛИ?

- Небольшие отклонения от экспериментальных данных
- Возможные новые явления в нейтринном секторе (майорановские нейтрино)
- Нестабильность электрослабого вакуума
- Невозможность описать тёмную материю (если только она не имеет чисто гравитационную природу)

ЧТО ЗАСТАВЛЯЕТ НАС ДУМАТЬ ЧТО СУЩЕСТВУЕТ НОВАЯ ФИЗИКА ВНЕ СТАНДАРТНОЙ МОДЕЛИ?

- Небольшие отклонения от экспериментальных данных
- Возможные новые явления в нейтринном секторе (майорановские нейтрино)
- Нестабильность электрослабого вакуума
- Невозможность описать тёмную материю (если только она не имеет чисто гравитационную природу)
- Барионная асимметрия Вселенной является фундаментальной проблемой и может потребовать новых ингредиентов

ЧТО ЗАСТАВЛЯЕТ НАС ДУМАТЬ ЧТО СУЩЕСТВУЕТ НОВАЯ ФИЗИКА ВНЕ СТАНДАРТНОЙ МОДЕЛИ?

- Небольшие отклонения от экспериментальных данных
- Возможные новые явления в нейтринном секторе (майорановские нейтрино)
- Нестабильность электрослабого вакуума
- Невозможность описать тёмную материю (если только она не имеет чисто гравитационную природу)
- Барионная асимметрия Вселенной является фундаментальной проблемой и может потребовать новых ингредиентов
- Непонимание структуры ароматов в СМ взывает к объяснению на более высоком уровне

ЧТО ЗАСТАВЛЯЕТ НАС ДУМАТЬ ЧТО СУЩЕСТВУЕТ НОВАЯ ФИЗИКА ВНЕ СТАНДАРТНОЙ МОДЕЛИ?

- Небольшие отклонения от экспериментальных данных
- Возможные новые явления в нейтринном секторе (майорановские нейтрино)
- Нестабильность электрослабого вакуума
- Невозможность описать тёмную материю (если только она не имеет чисто гравитационную природу)
- Барионная асимметрия Вселенной является фундаментальной проблемой и может потребовать новых ингредиентов
- Непонимание структуры ароматов в СМ взывает к объяснению на более высоком уровне
- Новая эра в гравитации в связи с открытием гравитационных волн и обнаружением чёрных дыр может изменить ландшафт

Идеи и направления развития:

- Симметрии
 - суперсимметрия, поколения
- Составные частицы
 - хиггсовские бозоны, фермионы
- Дополнительные измерения
 - малые, большие, скрученные
- Тёмный и скрытый сектор
 - Тёмная материя, нарушение СУЗИ
- Объединение
 - ТВО, струна
- Новые динамические идеи
 - Натуральность, струнные инстантоны, релаксация
- Случайность или закономерность
 - мультивселенная
- Струнные артефакты
 - Z' , векторные фермионы, расширенный сектор Хиггса, модули, аксионы

По какому пути пойти?

По какому пути пойти?



По какому пути пойти?



Как мы добьёмся прогресса?

Как мы добьёмся прогресса?

 **На энергетическом рубеже**

Как мы добьёмся прогресса?

-  **На энергетическом рубеже**
-  **На рубеже интенсивности и точности**

Как мы добьёмся прогресса?

-  **На энергетическом рубеже**
-  **На рубеже интенсивности и точности**
-  **На рубеже чувствительности**

Как мы добьёмся прогресса?

-  **На энергетическом рубеже**
-  **На рубеже интенсивности и точности**
-  **На рубеже чувствительности**
-  **В космологии и астрофизике**

Как мы добьёмся прогресса?

- 🌐 **На энергетическом рубеже**
- 🌐 **На рубеже интенсивности и точности**
- 🌐 **На рубеже чувствительности**
- 🌐 **В космологии и астрофизике**

