

CMS

В.А.Матвееву - 80!

НЕРАЗГАДАННЫЕ ЗАГАДКИ ФИЗИКИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

Д.И.Казаков

Лаборатория теоретической физики им. Н.Н.Боголюбова

Объединённый Институт Ядерных Исследований

*Raw $\Sigma E_T \sim 2$ TeV
14 jets with $E_T > 40$ GeV
Estimated PU ~ 50*

XXII МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ФИЗИКЕ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ, ТБИЛИСИ 1976

P L E N A R Y R E P O R T

HIGH ENERGY THEORY OF STRONG INTERACTIONS

V.A.Matveev

Joint Institute for Nuclear Research

Development of strong interaction theory at high energies can be overlooked by following two supplementary directions: surveying the current theoretical approaches and models- on the one hand, and analysing recent experimental results which give us information about the dynamics of strong interaction- on the other hand. This formidable task can be solved only by all the speakers summarizing their efforts in discussions at parallel sessions AI-A5.

The contents of this talk are arranged as follows:

- I. General results in QFT
- II. Theory of diffraction scattering and the vacuum exchange
- III. Regge/quark analysis
- IV. High energy scattering in models of QFT
- V. Constituent theory of hadron interactions
- VI. Power laws
- VII. Scaling and similarity laws
- VIII. Concluding remarks

I. GENERAL RESULTS IN QFT

- I. QFT as a guide to the theory of strong interactions.

First
numb
bound
so s
Regg
opt
rin

app
day
the
ror
2.

tt
th
ou
re

su
a
t
f
s

N

1976

P L E N A R Y R E P O R T

HIGH ENERGY THEORY OF STRONG INTERACTIONS

V.A.Matveev

Joint Institute for Nuclear Research

Development of strong interaction theory at high energies can be overlooked by following two supplementary directions: surveying the current theoretical approaches and models- on the one hand, and analysing recent experimental results which give us information about the dynamics of strong interaction- on the other hand. This formidable task can be solved only by all the speakers summarizing their efforts in discussions at parallel sessions AI-A5.

The contents of this talk are arranged as follows:

- I. General results in QFT
- II. Theory of diffraction scattering and the vacuum exchange
- III. Regge/quark analysis
- IV. High energy scattering in models of QFT
- V. Constituent theory of hadron interactions
- VI. Power laws
- VII. Scaling and similarity laws
- VIII. Concluding remarks

I. GENERAL RESULTS IN QFT

- I. QFT as a guide to the theory of strong interactions.

First
numb
bound
so s
Regg
opt
rin

app
day
the
ror
2.

tt
th
ou
re

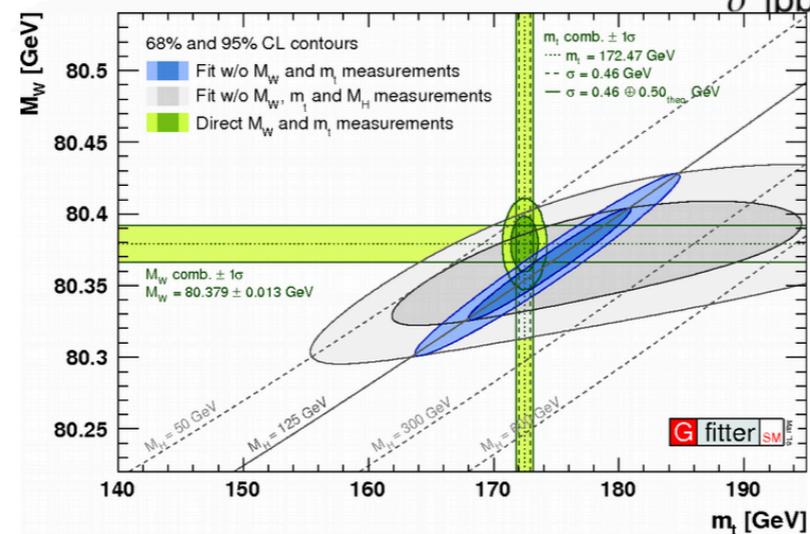
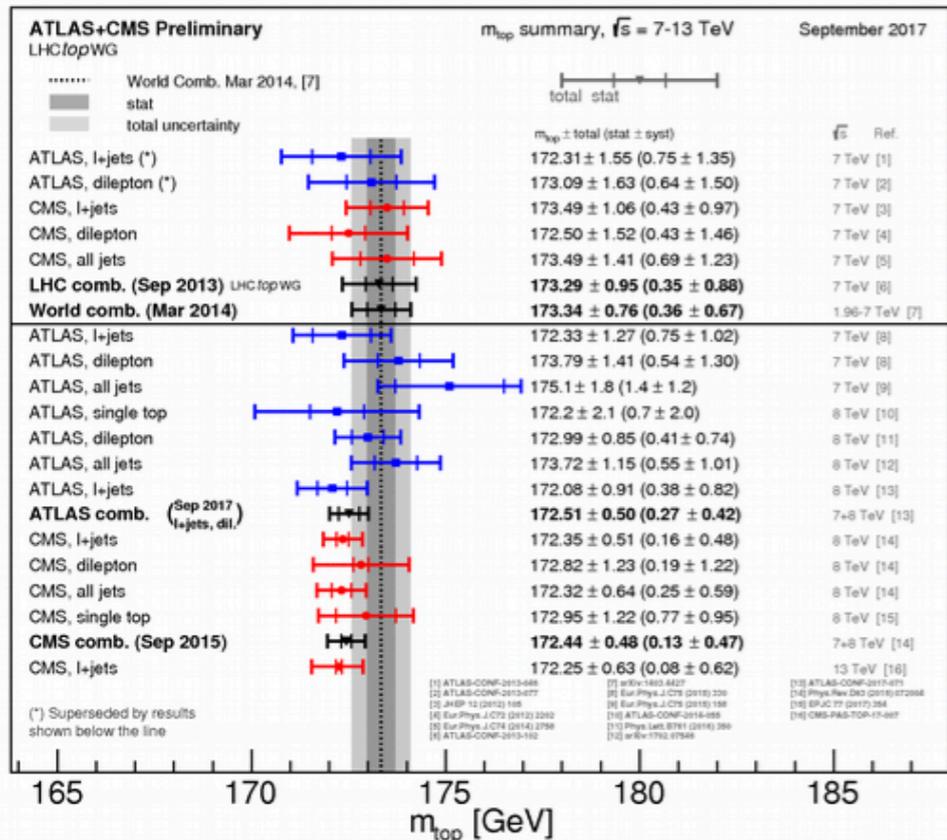
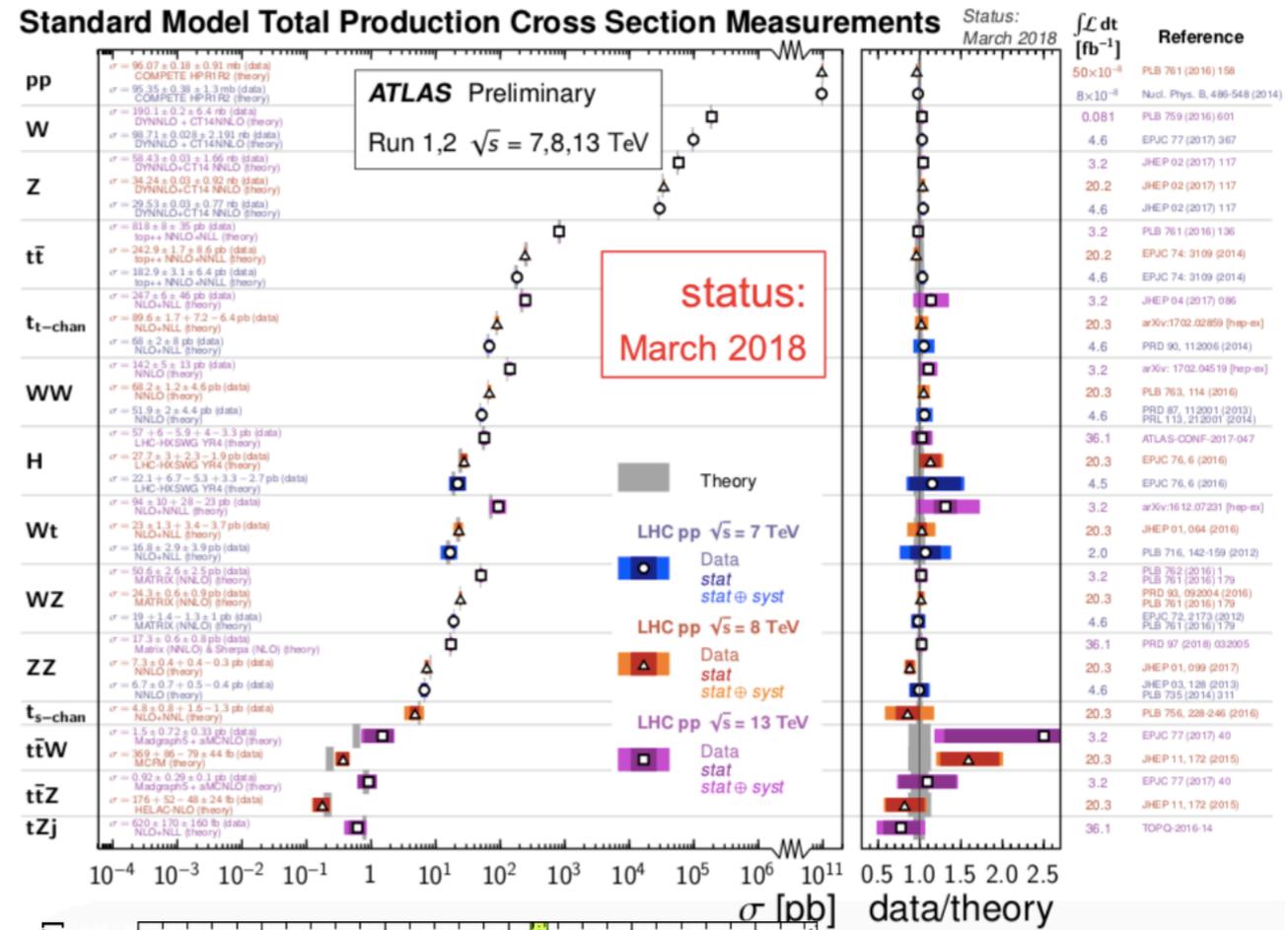
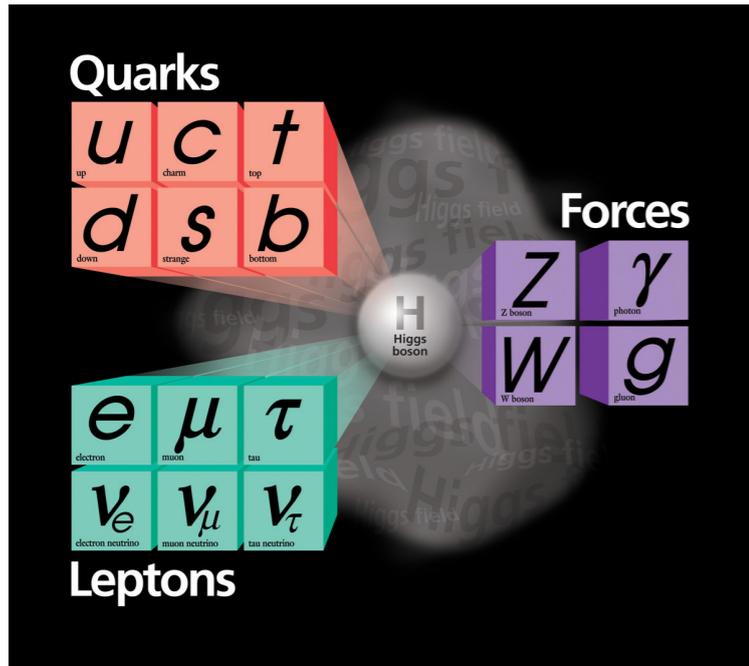
su
a
t
f
s

N

1976

- КХД ещё только рождается, аналитичность и реджистика всё ещё в повестке дня
- Но кварки (4 штуки) уже есть!
- Уже написаны правила кваркового счёта
- Скейлинг и АС свобода уже есть, но факторизации и уравнений эволюции ещё нет!
- Проблема конфайнмента уже осознана, но не решена...
- Функций распределения и фрагментации ещё нет
- Экзотических барионов ещё нет

Стандартная модель



Замечательное согласие между измерениями и предсказаниями Стандартной модели

ПРИНЦИПЫ

- Три калибровочных симметрии $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$
- Три семейства кварков и лептонов ($\underline{3} \times \underline{2}$, $\underline{3} \times \underline{1}$, $\underline{1} \times \underline{2}$, $\underline{1} \times \underline{1}$)
- Спонтанное нарушение электрослабой симметрии по механизму Браута-Энглера-Хиггса → бозон хиггса
- Смешивание ароматов с матрицами CKM и PMNS
- CP нарушение через фазовые факторы
- Конфайнмент кварков и глюонов внутри адронов
- Сохранение барионного и лептонного чисел
- CPT инвариантность → существование антиматерии

ПРИНЦИПЫ

- Три калибровочных симметрии $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$
- Три семейства кварков и лептонов ($\underline{3} \times \underline{2}$, $\underline{3} \times \underline{1}$, $\underline{1} \times \underline{2}$, $\underline{1} \times \underline{1}$)
- Спонтанное нарушение электрослабой симметрии по механизму Браута-Энглера-Хиггса \rightarrow бозон хиггса
- Смешивание ароматов с матрицами CKM и PMNS
- CP нарушение через фазовые факторы
- Конфайнмент кварков и глюонов внутри адронов
- Сохранение барионного и лептонного чисел
- CPT инвариантность \rightarrow существование антиматерии

Принципы СМ допускают:

- Дополнительные семейства кварков и лептонов
- Присутствие или отсутствие синглетного правостороннего нейтрино
- Майорановскую или дираковскую природу нейтрино
- Наличие дополнительных хиггсовских бозонов

ОТКРЫТЫЕ ВОПРОСЫ

ОТКРЫТЫЕ ВОПРОСЫ

Почему?

- почему $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$?
- почему 3 поколения ?
- почему кварк-лептонная симметрия?
- почему V-A слабое взаимодействие?
- почему L-R асимметрия?
- почему B & L сохранение?
- И т.д.

ОТКРЫТЫЕ ВОПРОСЫ

Почему?

- 📌 почему $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$?
- 📌 почему 3 поколения ?
- 📌 почему кварк-лептонная симметрия?
- 📌 почему V-A слабое взаимодействие?
- 📌 почему L-R асимметрия?
- 📌 почему B & L сохранение?
- 📌 И т.д.

Как?

- 📌 как реально работает конфайнмент?
- 📌 как происходит кварк-адронный переход?
- 📌 как рассчитать адронные матричные элем ?
- 📌 как нейтрино приобретают массу?
- 📌 как происходит CP нарушение в ранней Вселенной?
- 📌 как защитить SM от влияния физики на высокой шкале?

ОТКРЫТЫЕ ВОПРОСЫ

Почему?

- 📌 почему $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$?
- 📌 почему 3 поколения ?
- 📌 почему кварк-лептонная симметрия?
- 📌 почему V-A слабое взаимодействие?
- 📌 почему L-R асимметрия?
- 📌 почему B & L сохранение?
- 📌 И т.д.

- 📌 Является ли SM самосогласованной?
- 📌 Объясняет ли она все экспериментальные данные?
- 📌 Есть ли какие-то указания на физику вне SM?
- 📌 Существует ли другая шкала кроме EW и Планковской?
- 📌 Совместна ли SM с космологией? Где тёмная материя?

Как?

- 📌 как реально работает конфайнмент?
- 📌 как происходит кварк-адронный переход?
- 📌 как рассчитать адронные матричные элем ?
- 📌 как нейтрино приобретают массу?
- 📌 как происходит CP нарушение в ранней Вселенной?
- 📌 как защитить SM от влияния физики на высокой шкале?

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\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}$$

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- Из чего состоит тёмная материя ?
- Природа нейтрино: майорана или дирак ?
- Хиггсовский сектор: один или много ?
- CP нарушение и Баритонная асимметрия Вселенной ?
- Существует ли и какой переход конфайнмент-деконфайнмент ?
- Лептонная неуниверсальность: фикция или реальность ?
- Как устроены адроны: спина, многокварковые состояния, глоболы ?
- (Не)Устойчивость электрослабого вакуума ?
- Есть ли отклонения от Стандартной модели ?

Muon anomalous magnetic moment

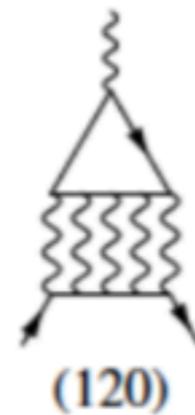
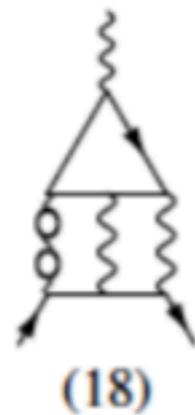
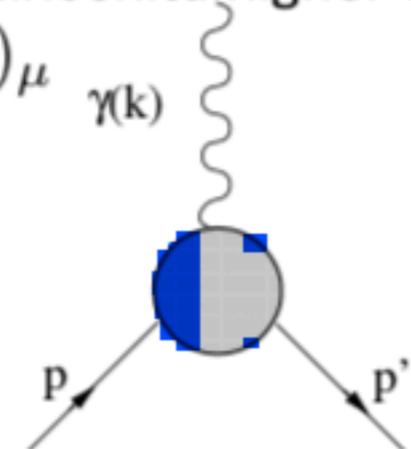
$$ie\bar{u}_\ell(p') \left[\gamma^\mu - \frac{a_\ell}{2m_\ell} i\sigma^{\mu\nu} q_\nu \right] u_\ell(p) \epsilon_\mu^*$$

(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!



$$a_\mu^{th} - a_\mu^{exp} = -(3.06 \pm 0.76) \times 10^{-8} \quad 3,7 \sigma$$

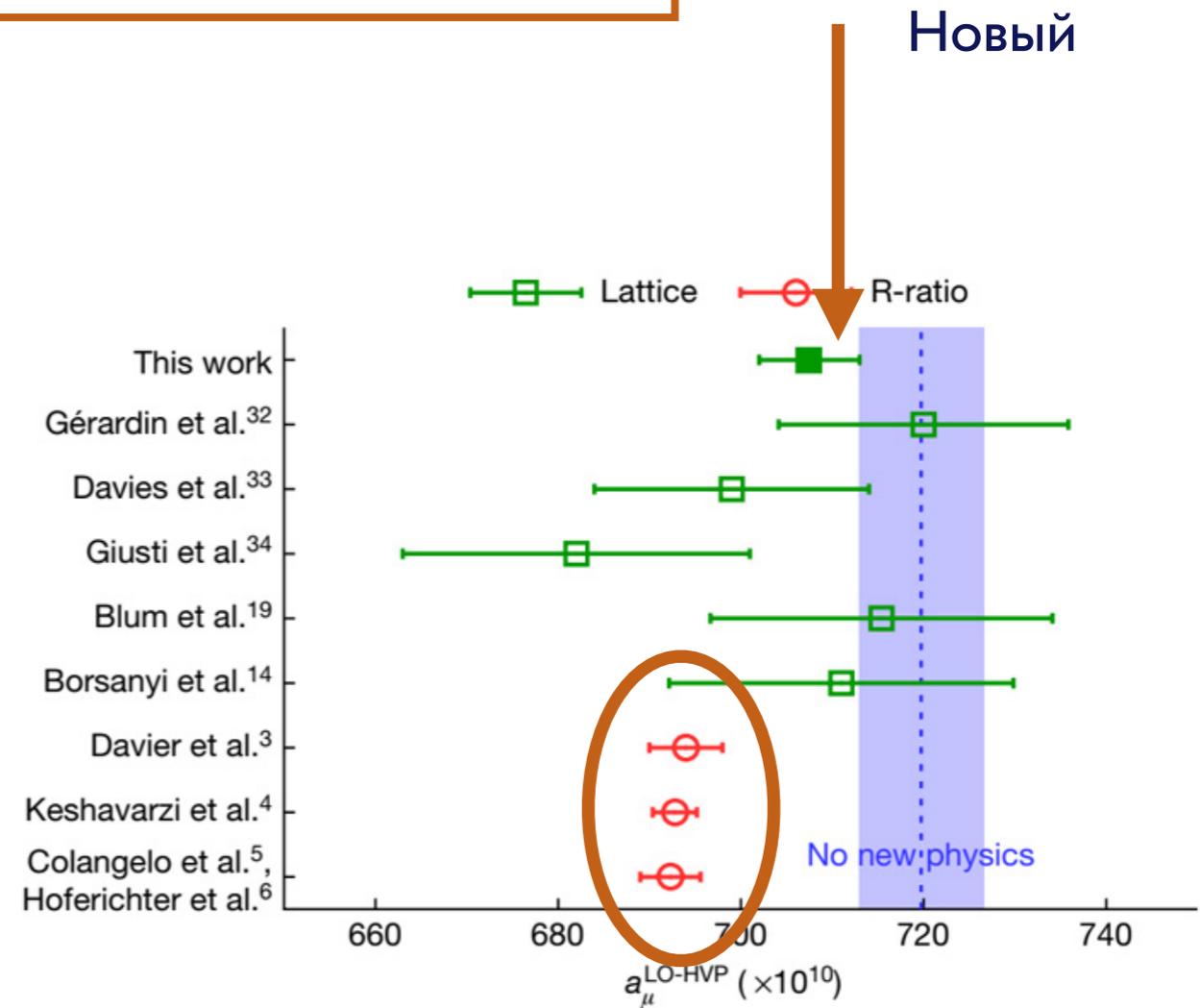
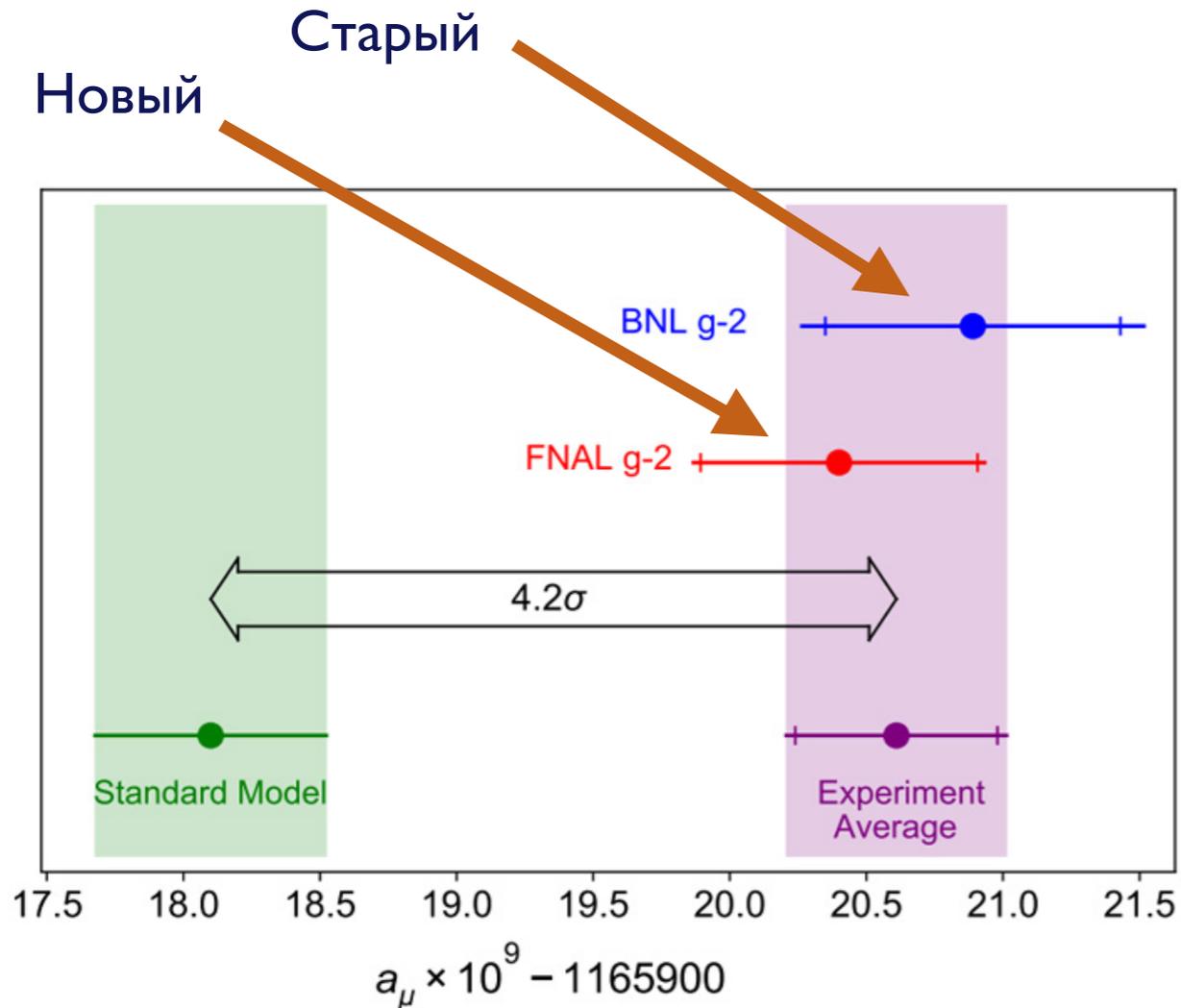
Theory: uncertainty in hadronic contributions to the muon $g - 2$, (Jägerlehner, 1802.08019).
Lattice QCD great progress light-by-light study (RBC & UKQCD, 1801.07224).

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

СТАНДАРТНАЯ МОДЕЛЬ: СОСТОЯНИЕ ДЕЛ И ОТКРЫТЫЕ ВОПРОСЫ

ФермиЛаб апрель 2021

$$a_\mu(\text{E821}) = (116\,592\,089 \pm 63) \times 10^{-11}.$$



Проблема усугубилась?

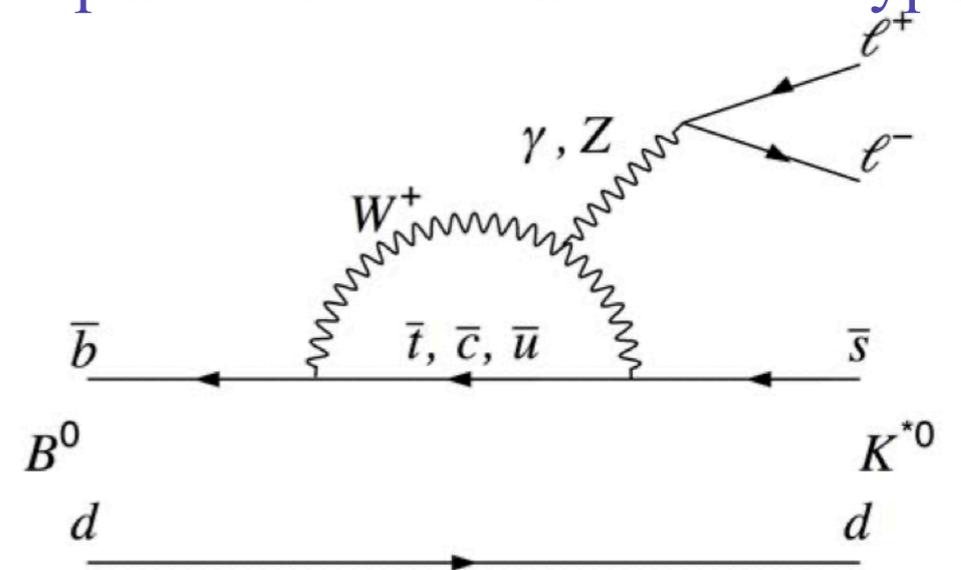
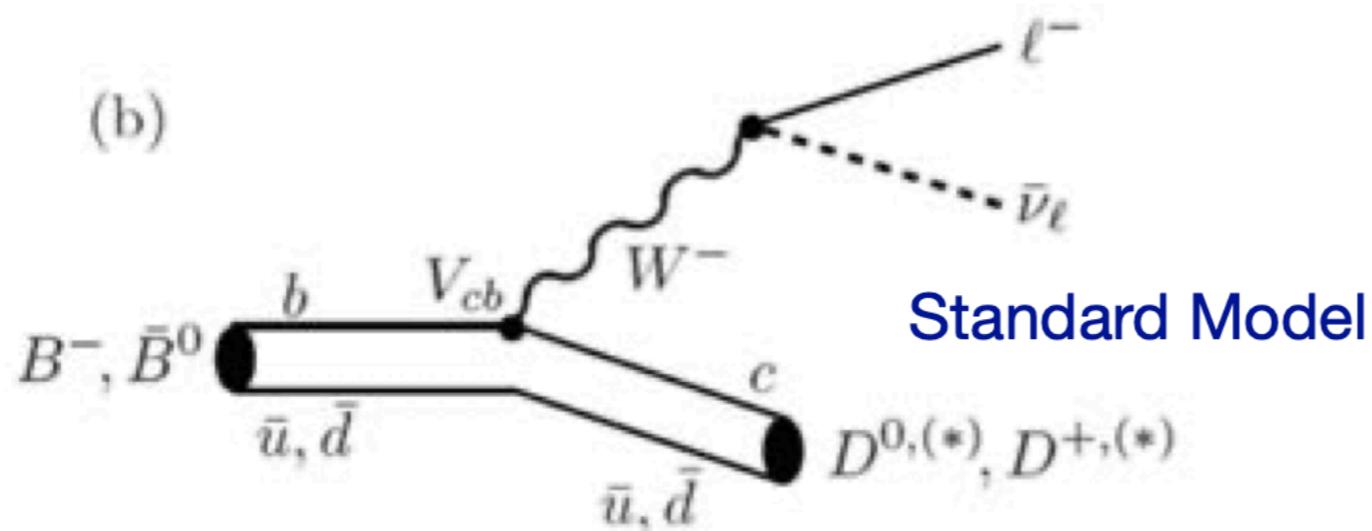
Может быть и нет!

Вывод: важно уметь правильно оценить вклад сильных взаимодействий!

ЛЕПТОННАЯ НЕУНИВЕРСАЛЬНОСТЬ !?

Заряженные токи на древесном уровне

Нейтральные токи на петлевом уровне



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

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

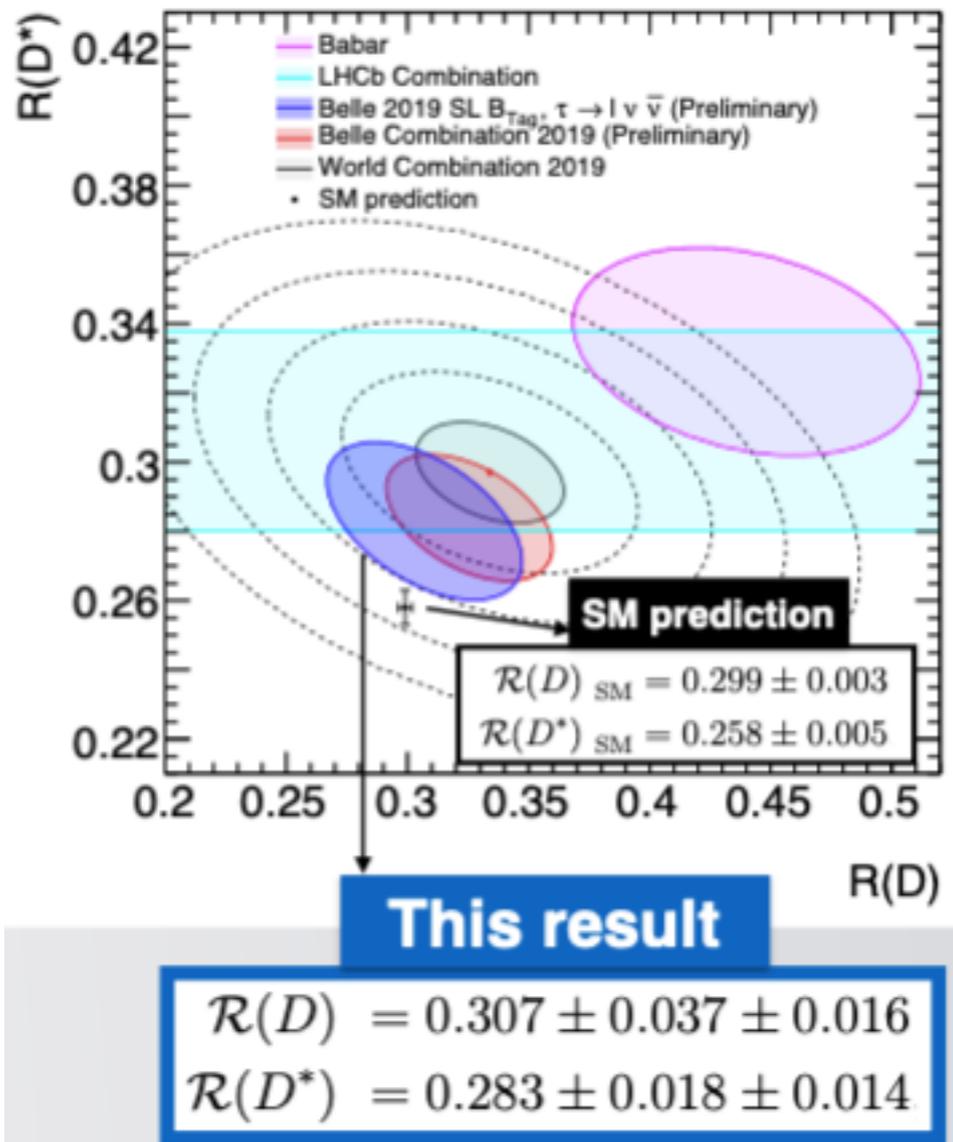
$$\mathcal{R}(D)_{SM} = 0.299 \pm 0.003$$

$$\mathcal{R}(K^*)_{SM} = 1.0$$

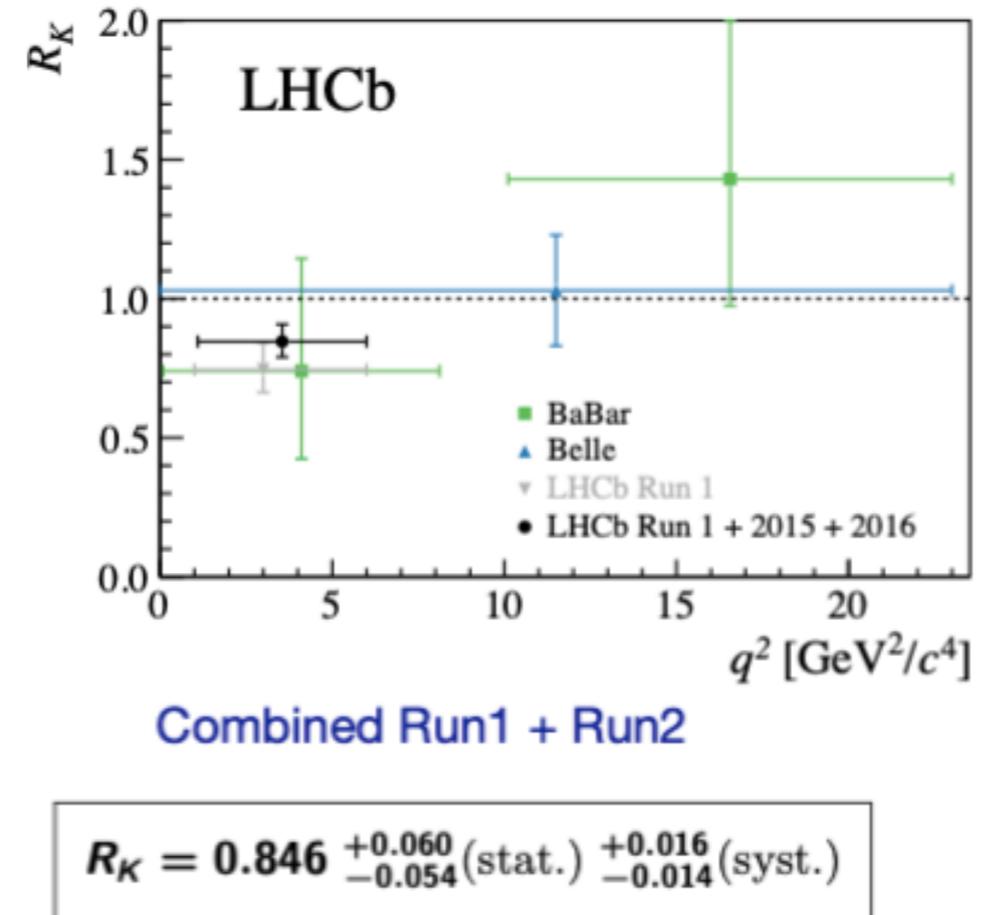
$$\mathcal{R}(D^*)_{SM} = 0.258 \pm 0.005$$

Аномалии в распадах В-мезонов: эксперимент \neq предсказания СМ

D-мезоны



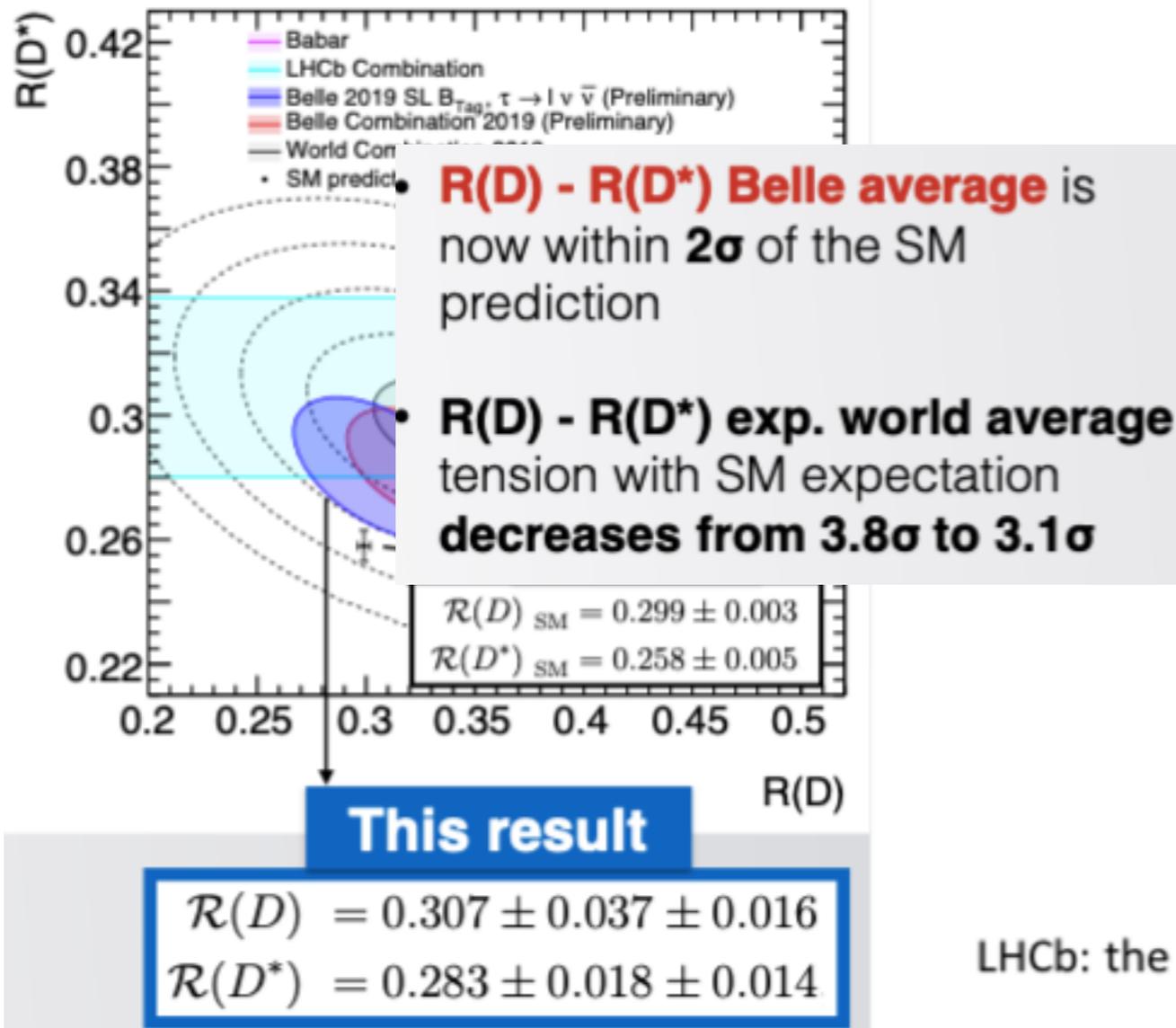
K-мезоны



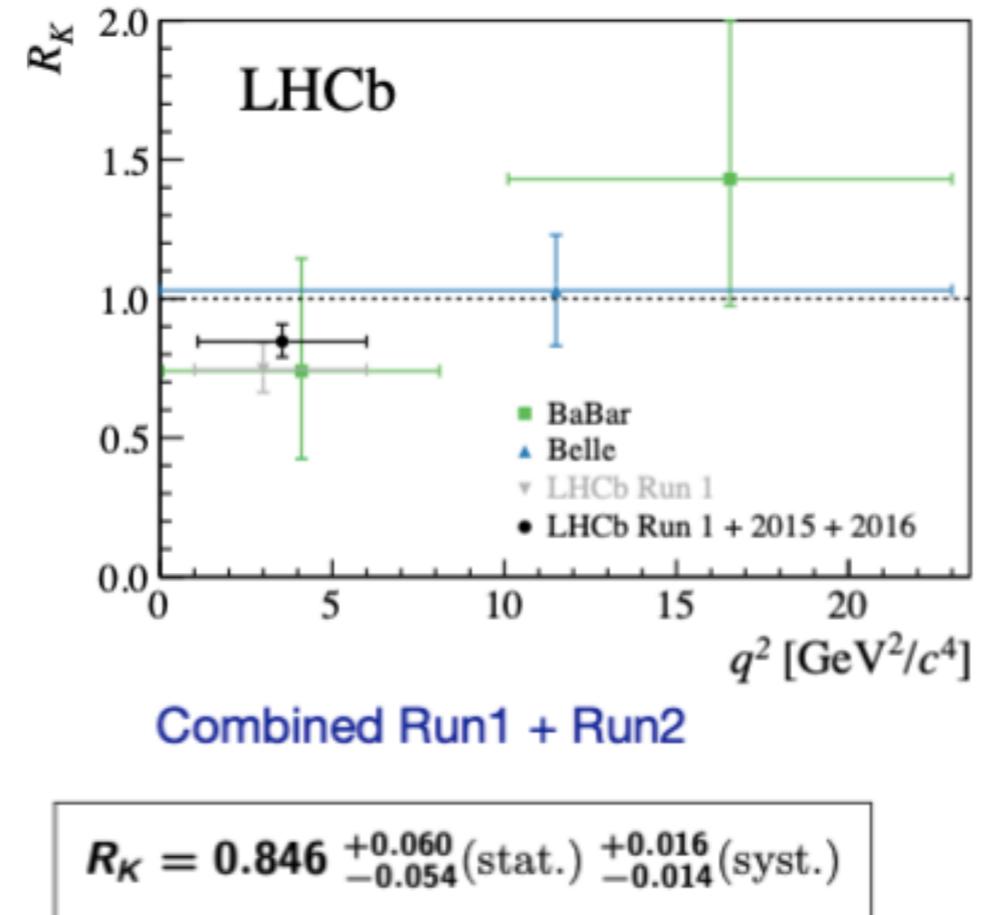
LHCb: the discrepancy present in $B_s \rightarrow \phi \mu \mu$ and $\Lambda_b \rightarrow \Lambda \mu \mu$

Аномалии в распадах В-мезонов: эксперимент \neq предсказания СМ

D-мезоны



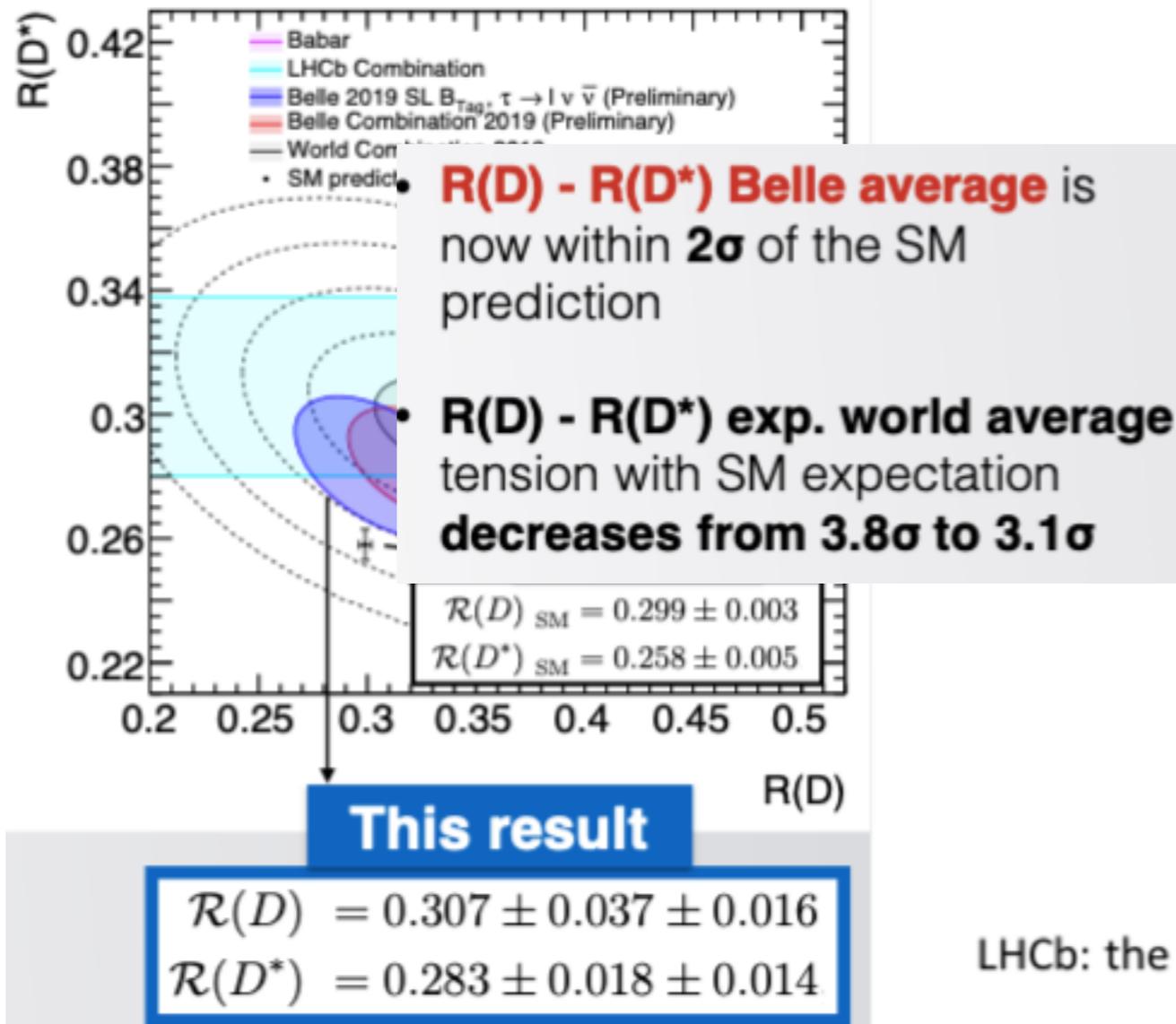
K-мезоны



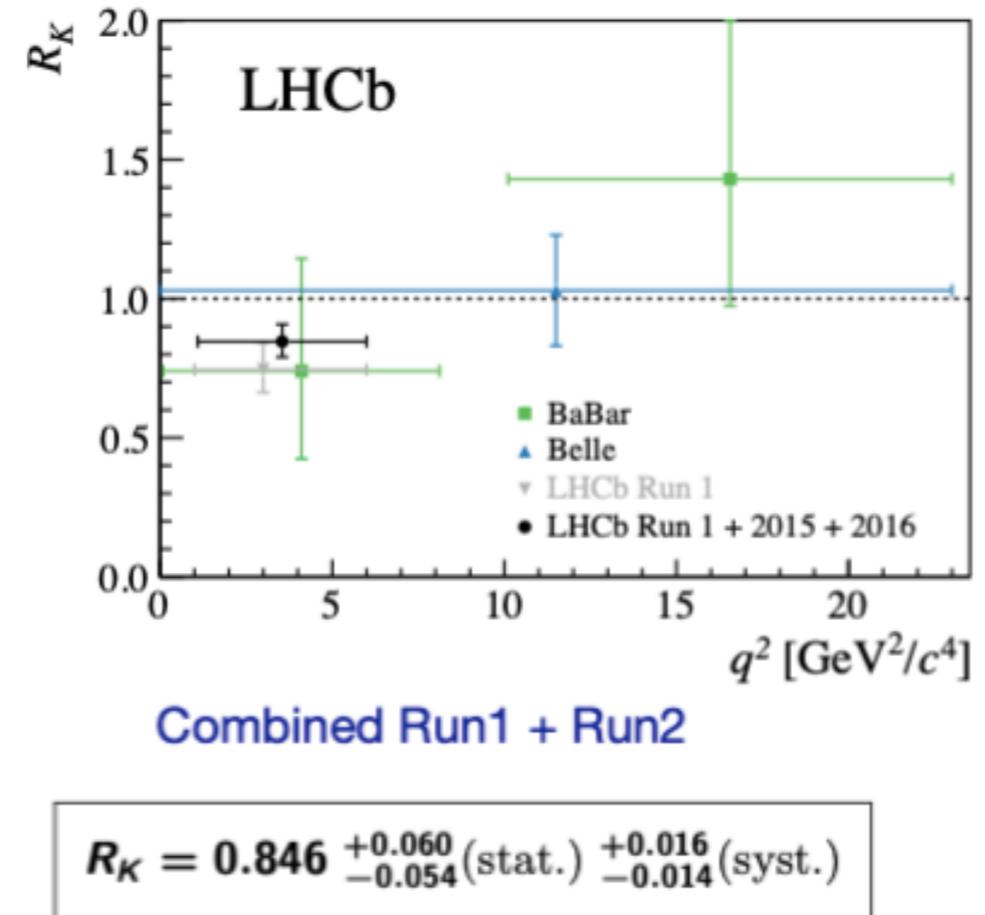
LHCb: the discrepancy present in $B_s \rightarrow \phi\mu\mu$ and $\Lambda_b \rightarrow \Lambda\mu\mu$

Аномалии в распадах В-мезонов: эксперимент \neq предсказания СМ

D-мезоны



K-мезоны

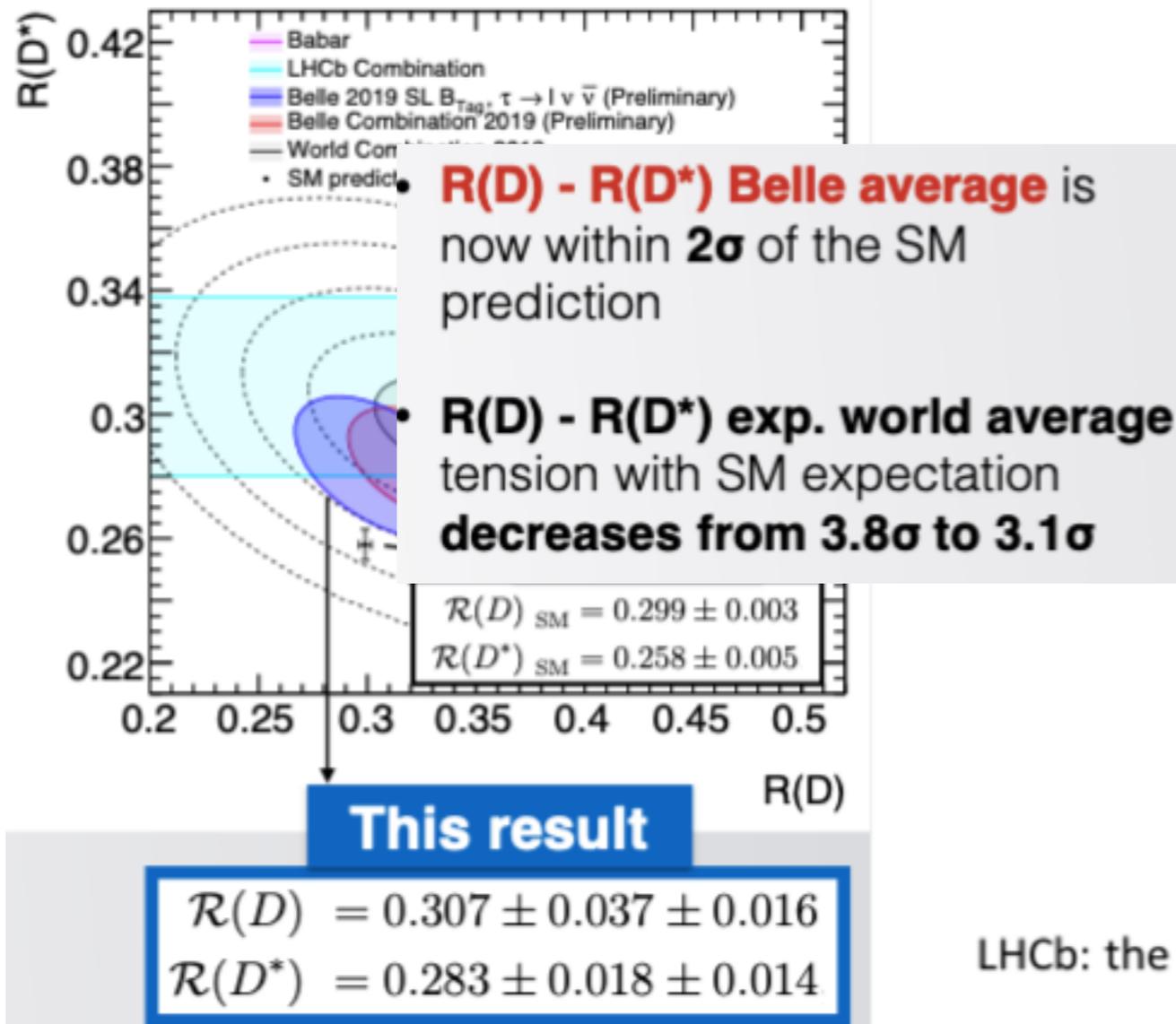


LHCb: the discrepancy present in $B_s \rightarrow \phi\mu\mu$ and $\Lambda_b \rightarrow \Lambda\mu\mu$

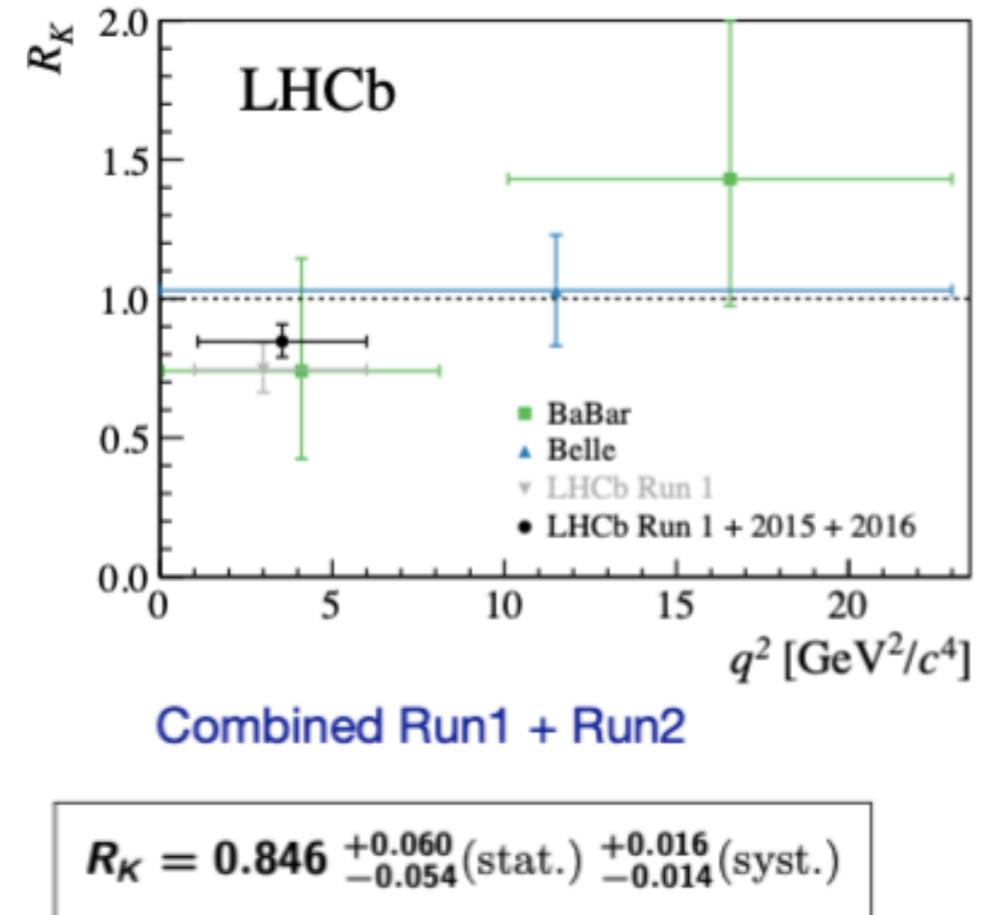
Расхождение может расти, но может и уменьшаться ...

Аномалии в распадах В-мезонов: эксперимент \neq предсказания СМ

D-мезоны



K-мезоны



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

Расхождение может расти, но может и уменьшаться ...

Неопределённость барионного вклада может быть преобладающей!

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
- 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

По какому пути пойти?

По какому пути пойти?



По какому пути пойти?



Как мы добьёмся прогресса?

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**

