



- обзор физических результатов

Анатолий Егоров

Научная Сессия ОФВЭ ПИЯФ

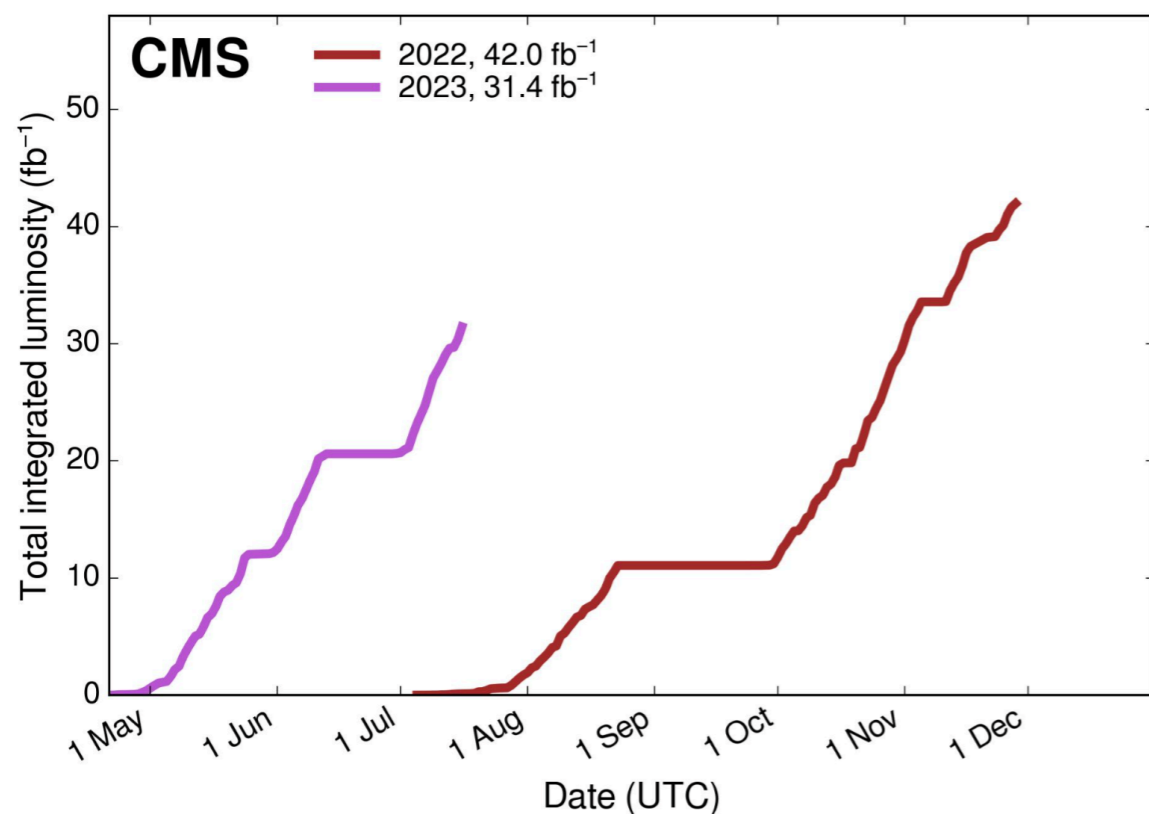
27 декабря 2023 г.



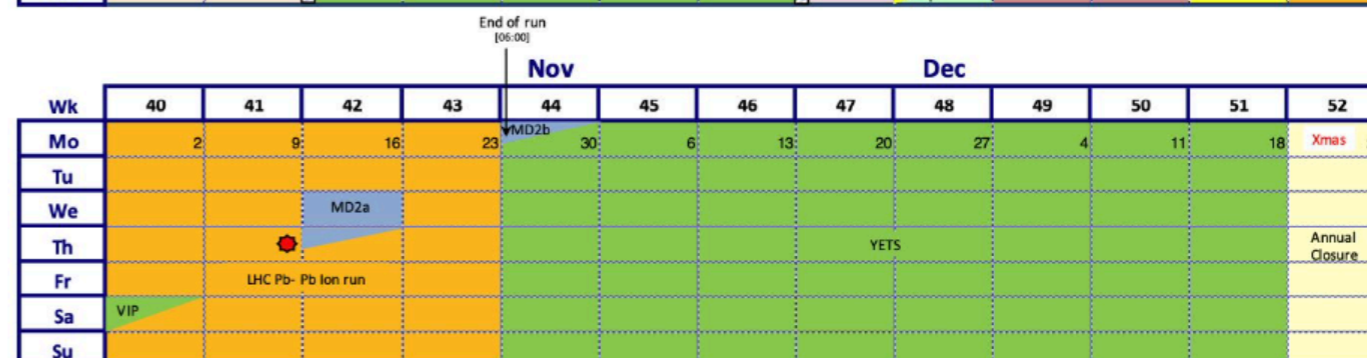
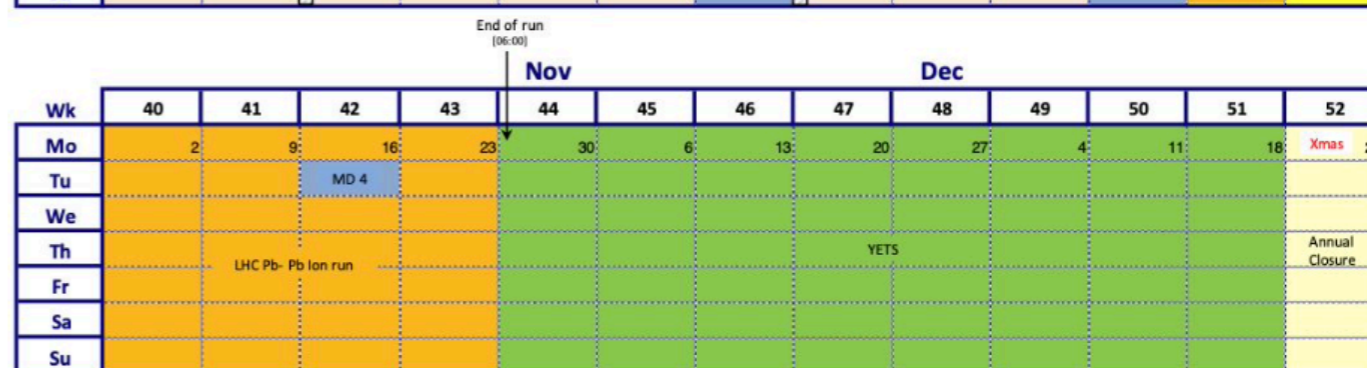
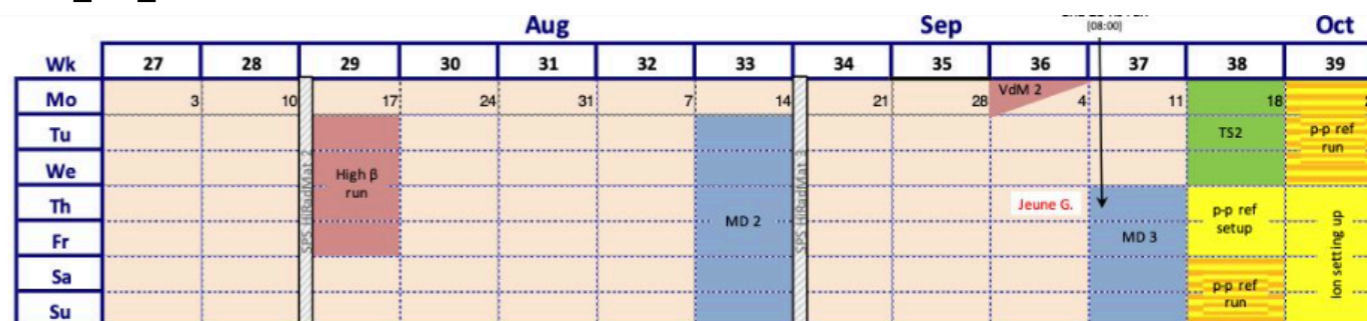
НАБОР ДАННЫХ И ПУБЛИКАЦИИ В 2023



Набор данных 2023 (pp)

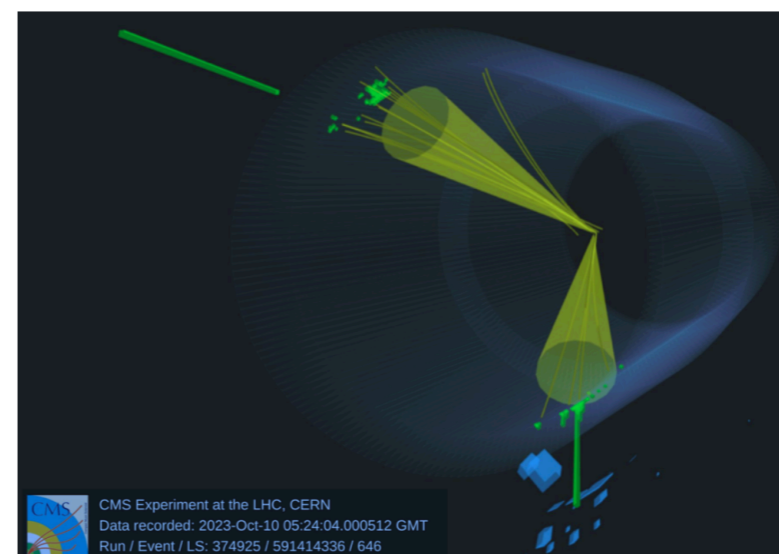
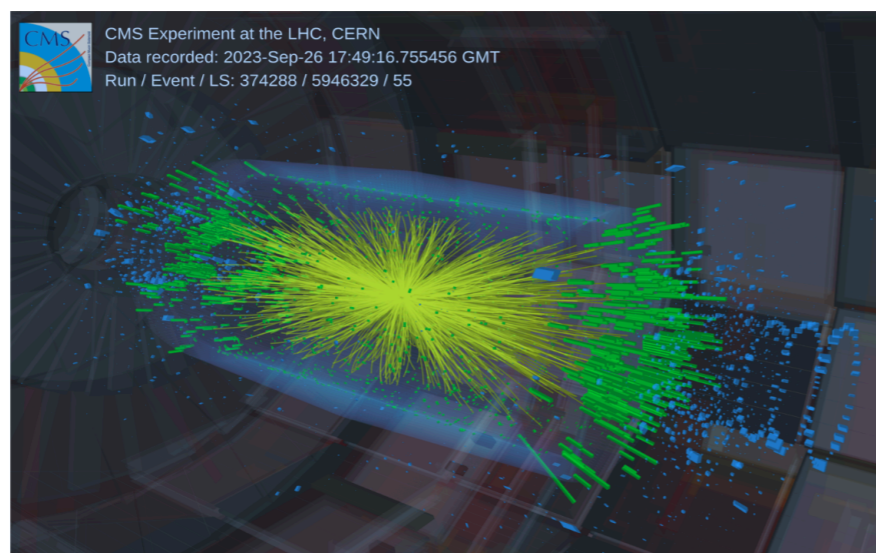
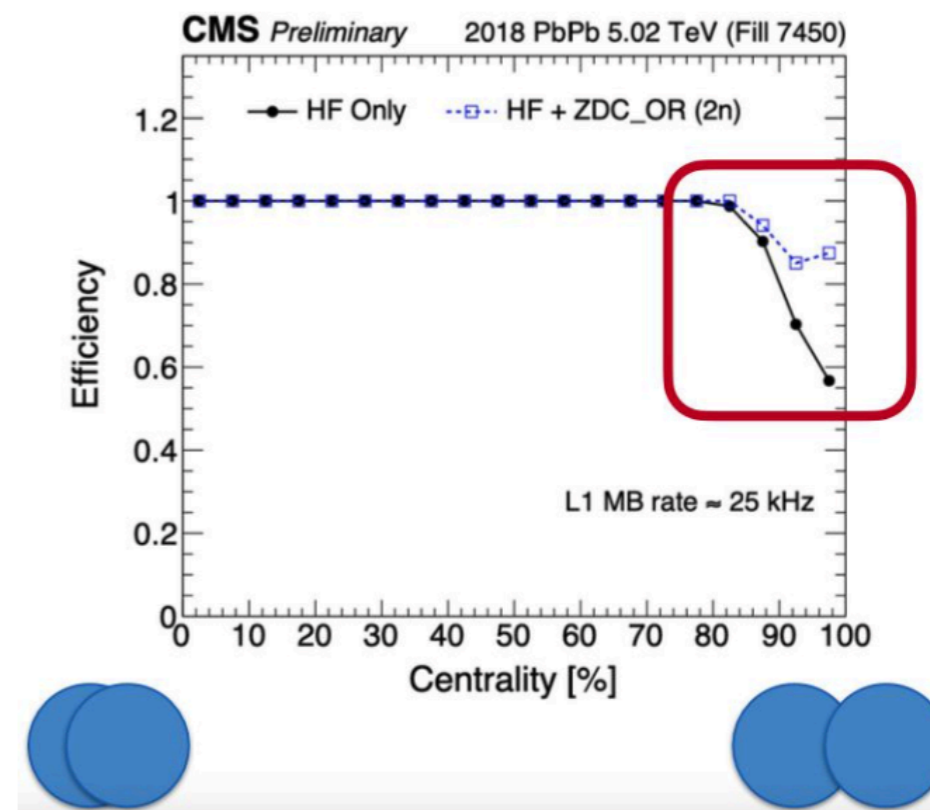
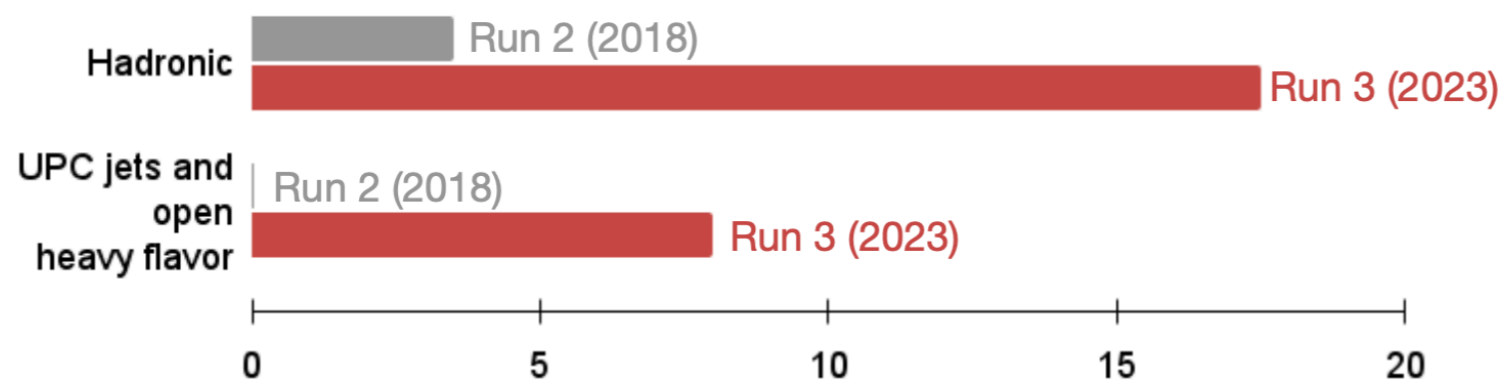


- 29 fb⁻¹ набранной интегральной светимости (38 fb⁻¹ в 2022 году; 140 fb⁻¹ в Run 2)
- ~92% эффективность набора
- План на Run 3 ~ 170 fb⁻¹

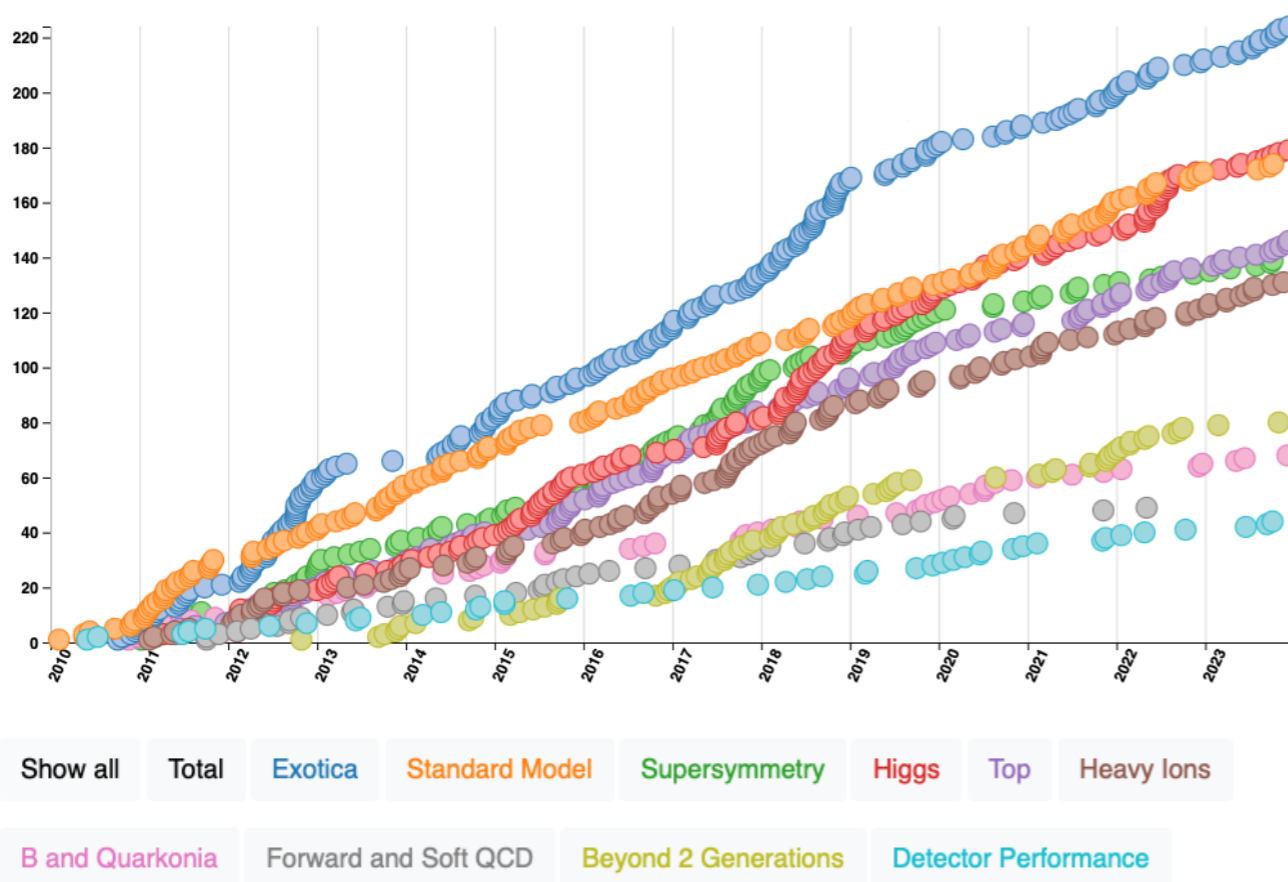


Набор данных 2023 (PbPb)

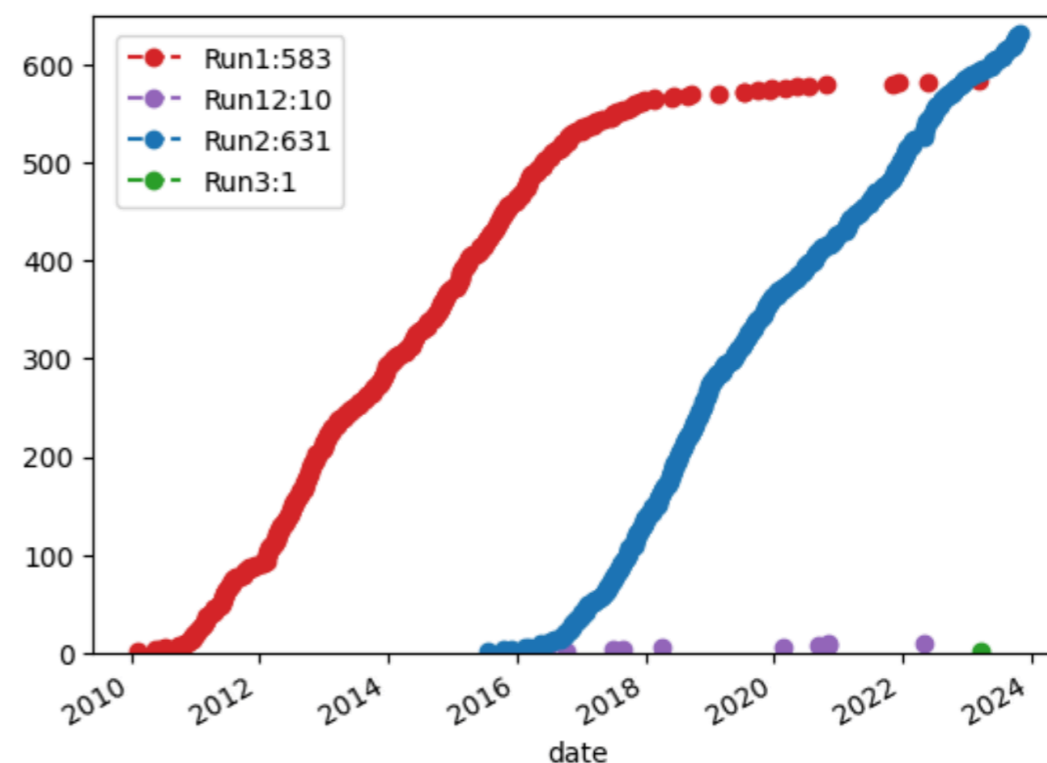
- PbPb @ 5.36 TeV
- 1.82 nb⁻¹ набранной интегральной светимости (1.7 nb⁻¹ в 2018 году)
- Включение ZDC в L1 триггер позволило впервые собрать ультрапериферические столкновения, а также значительно увеличить число MB событий.



Статистика публикаций



1261 публикаций за все время
57 публикаций в 2023 году
Run 2 еще не достиг плато.



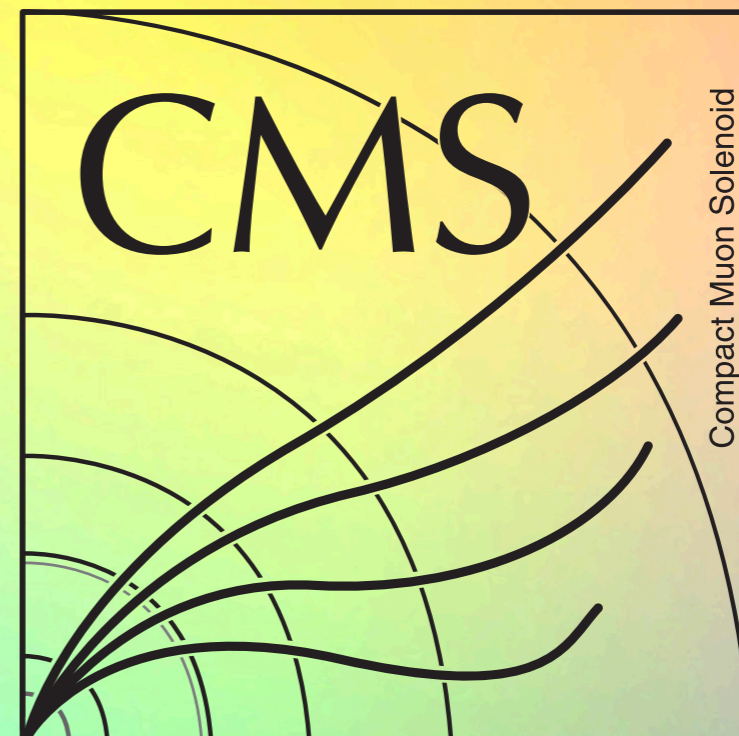
Run 3 - одна публикация:

- [[JHEP08\(2023\)204](#)]

First measurement of the top quark pair production cross section in proton-proton collision at $\sqrt{s} = 13.6$ TeV

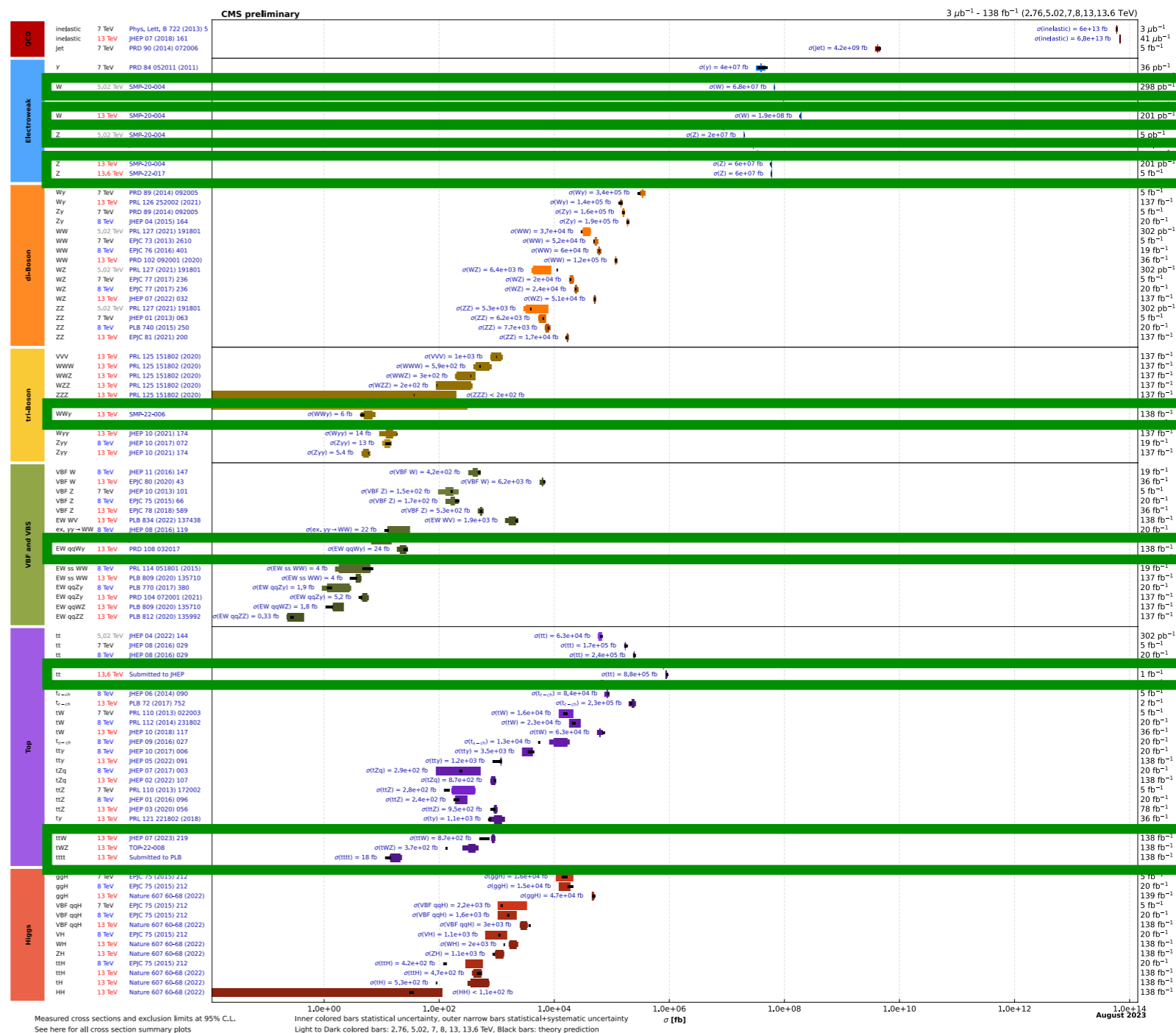
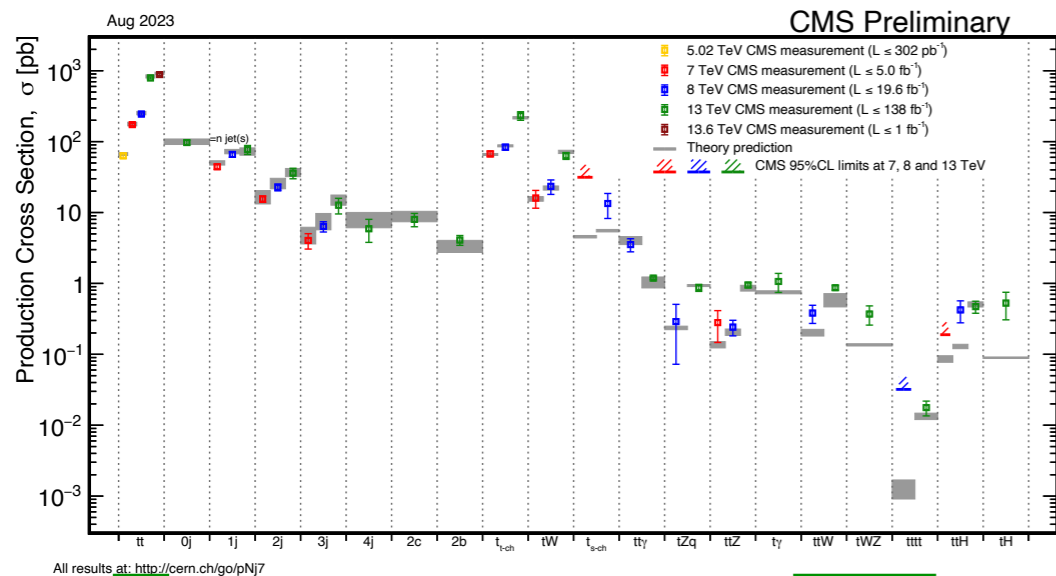
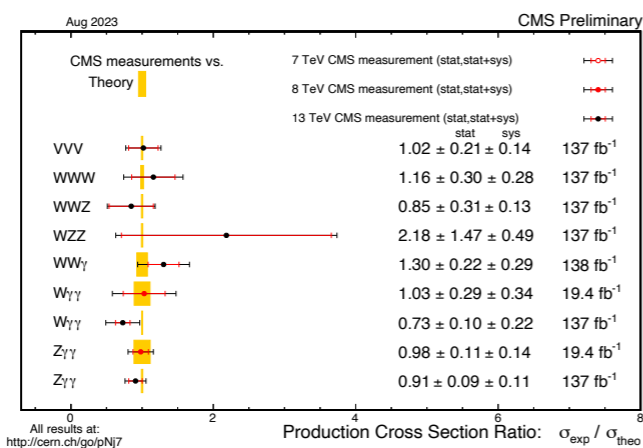
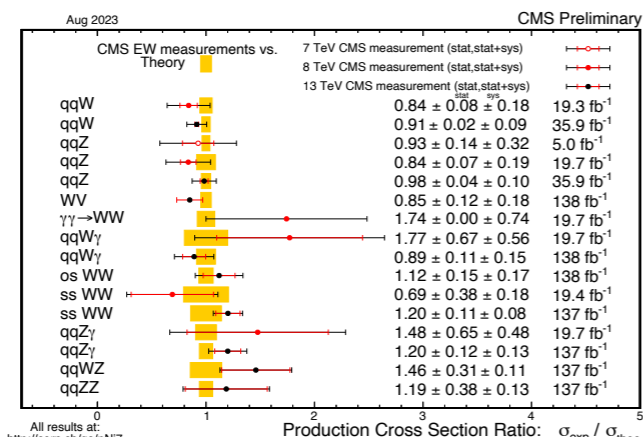
- два предварительных результата

ФИЗИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ



Проверка Стандартной модели

Overview of CMS cross section results





Самодействие бозона Хиггса. Объединение каналов Н и НН

13 ТэВ: CMS [[CMS-PAS-HIG-23-006](#)] (IHEP CAS, Beijing November 27, 2023)

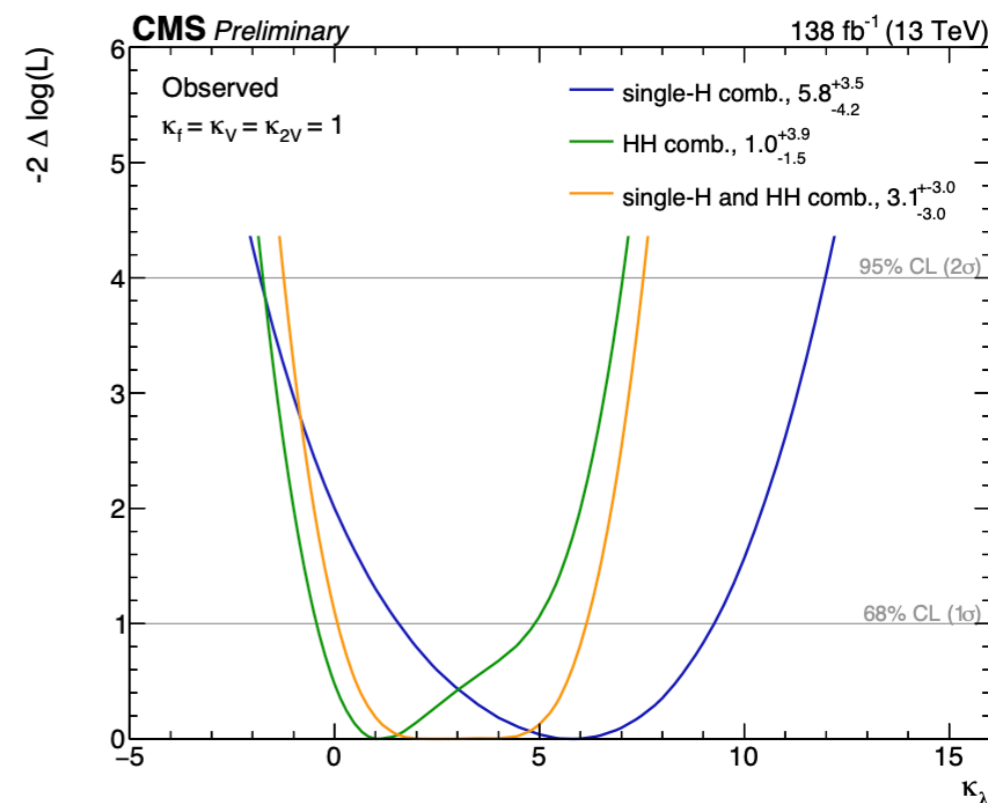
$$V(H) = \frac{1}{2}m_H^2 H^2 + \lambda_3 v H^3 + \frac{\lambda_4}{4} H^4$$

Single-H analyses

Analysis	Int. luminosity (fb ⁻¹)	Max. granularity	References
$H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$	138	STXS 1.2	Eur. Phys. J. C 81 (2021) 488
$ggH(bb)$	138	Inclusive	JHEP 12 (2020) 085
$VH \rightarrow b\bar{b}$	77	Inclusive	Phys. Rev. Lett. 121 121801
$t\bar{t}H(bb)$	36	Inclusive	JHEP 03 (2019) 026
$t\bar{t}H$ multilepton	138	Inclusive	Eur. Phys. J. C 81 (2021) 378
$H \rightarrow \mu\mu$	138	Inclusive	JHEP 01 (2021) 148
$H \rightarrow \gamma\gamma$	138	STXS 1.2	JHEP 07 (2021) 027 JHEP 03 (2021) 257
$H \rightarrow \tau\tau$	138	STXS 1.2	Eur. Phys. J. C 83 (2023) 562
$H \rightarrow WW$	138	STXS 1.2	Eur. Phys. J. C 83 (2023) 667

HH analyses

Analysis	Int. luminosity (fb ⁻¹)	Targeted production modes	References
$HH \rightarrow b\bar{b}\gamma\gamma$	138	ggHH and qqHH	JHEP 03 (2021) 257
$HH \rightarrow b\bar{b}\tau\tau$	138	ggHH and qqHH	Phys. Lett. B 842 (2023) 137531
$HH \rightarrow b\bar{b}b\bar{b}$ (resolved)	138	ggHH and qqHH	Phys. Rev. Lett. 129 081802
$HH \rightarrow b\bar{b}b\bar{b}$ (boosted)	138	ggHH and qqHH	Phys. Rev. Lett. 131 041803
HH (leptons)	138	ggHH	JHEP 2307 (2023) 095
$HH \rightarrow b\bar{b}WW$	138	ggHH and qqHH	CMS-PAS-HIG-21-005
$VHH \rightarrow b\bar{b}b\bar{b}$	138	VHH	CMS-PAS-HIG-22-006

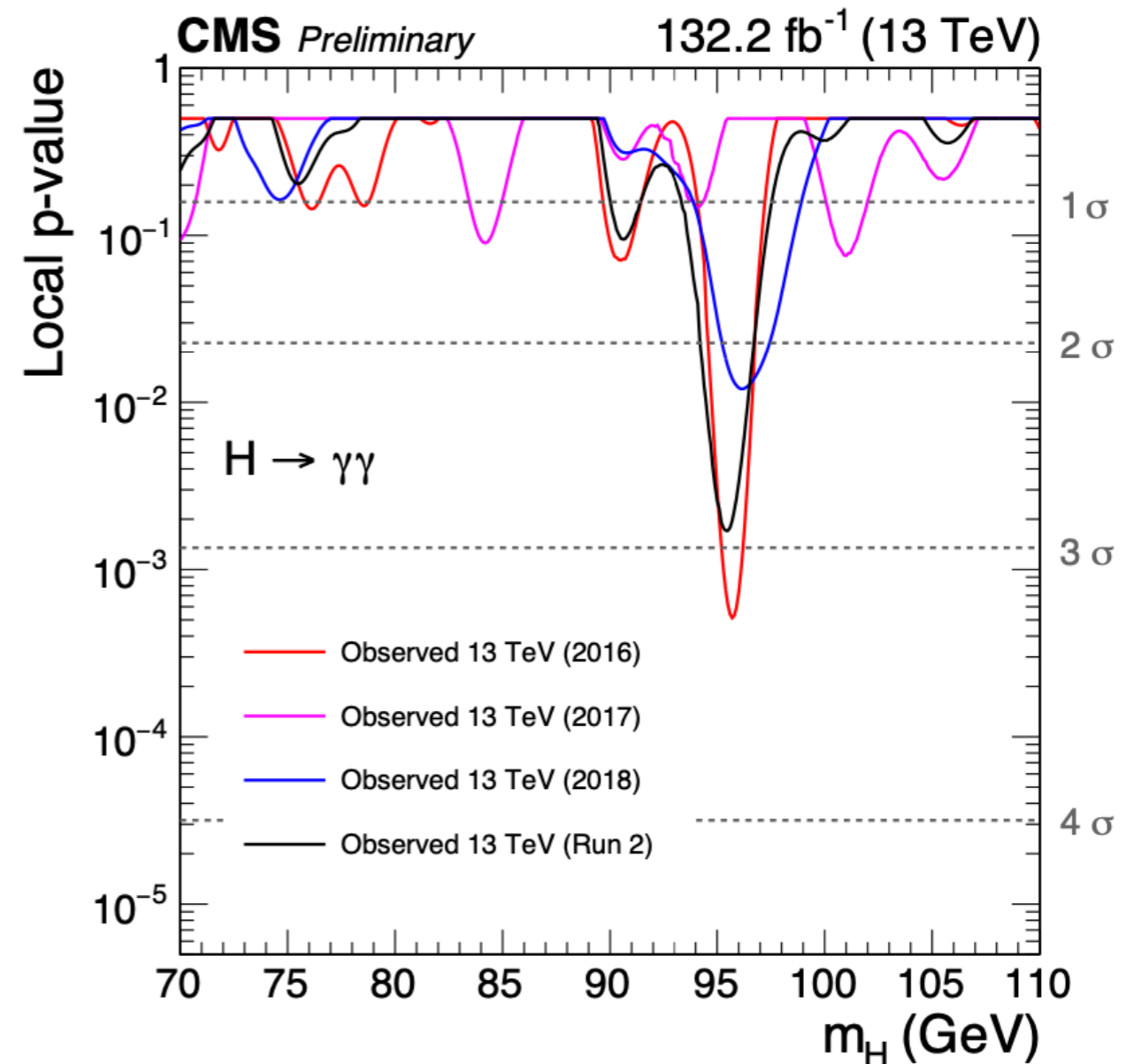
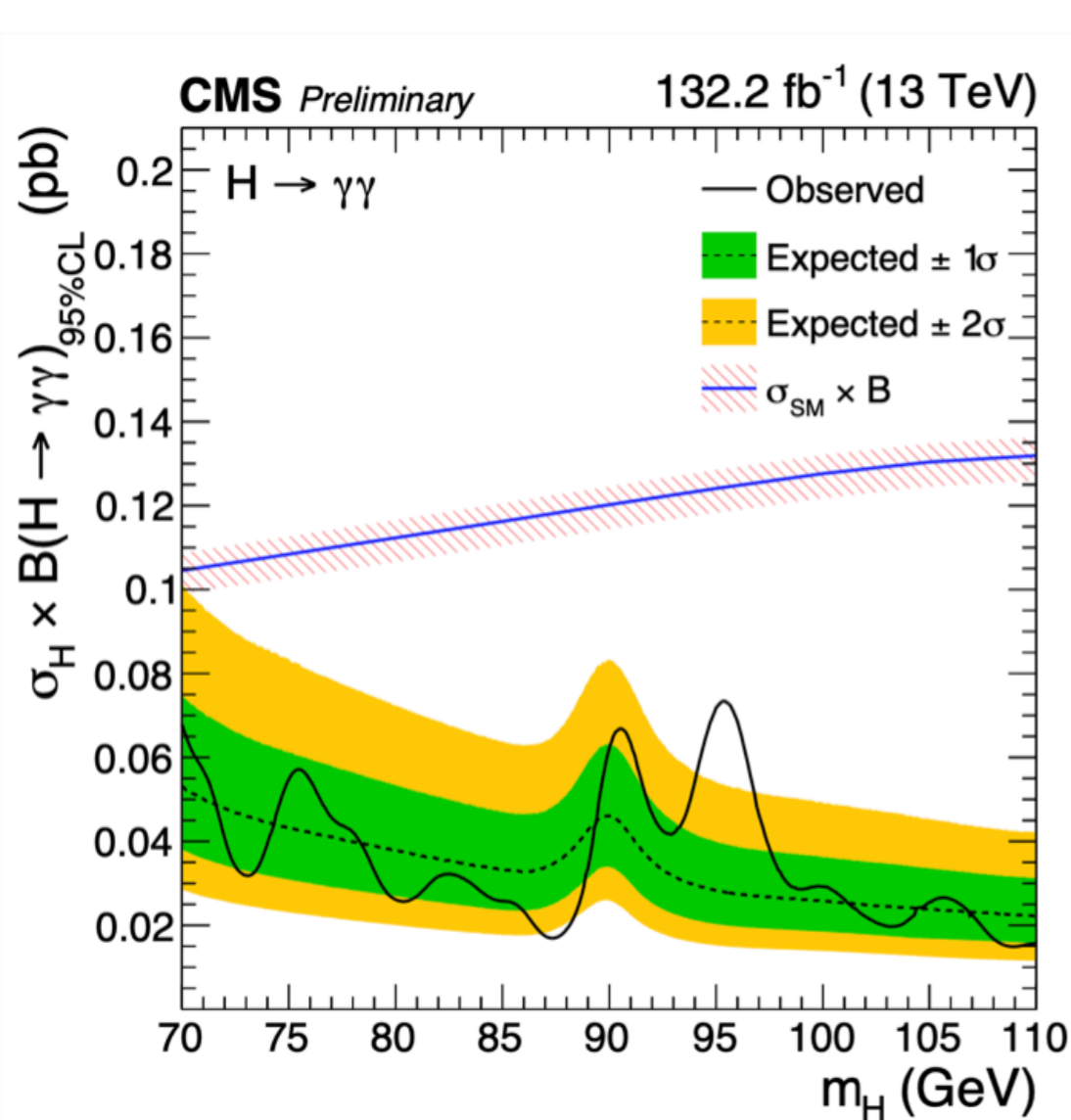


$$-1.2 < \kappa_\lambda < 7.5$$

$$\text{ATLAS } -0.4 < \kappa_\lambda < 6.3$$

Поиски легкого бозона Хиггса

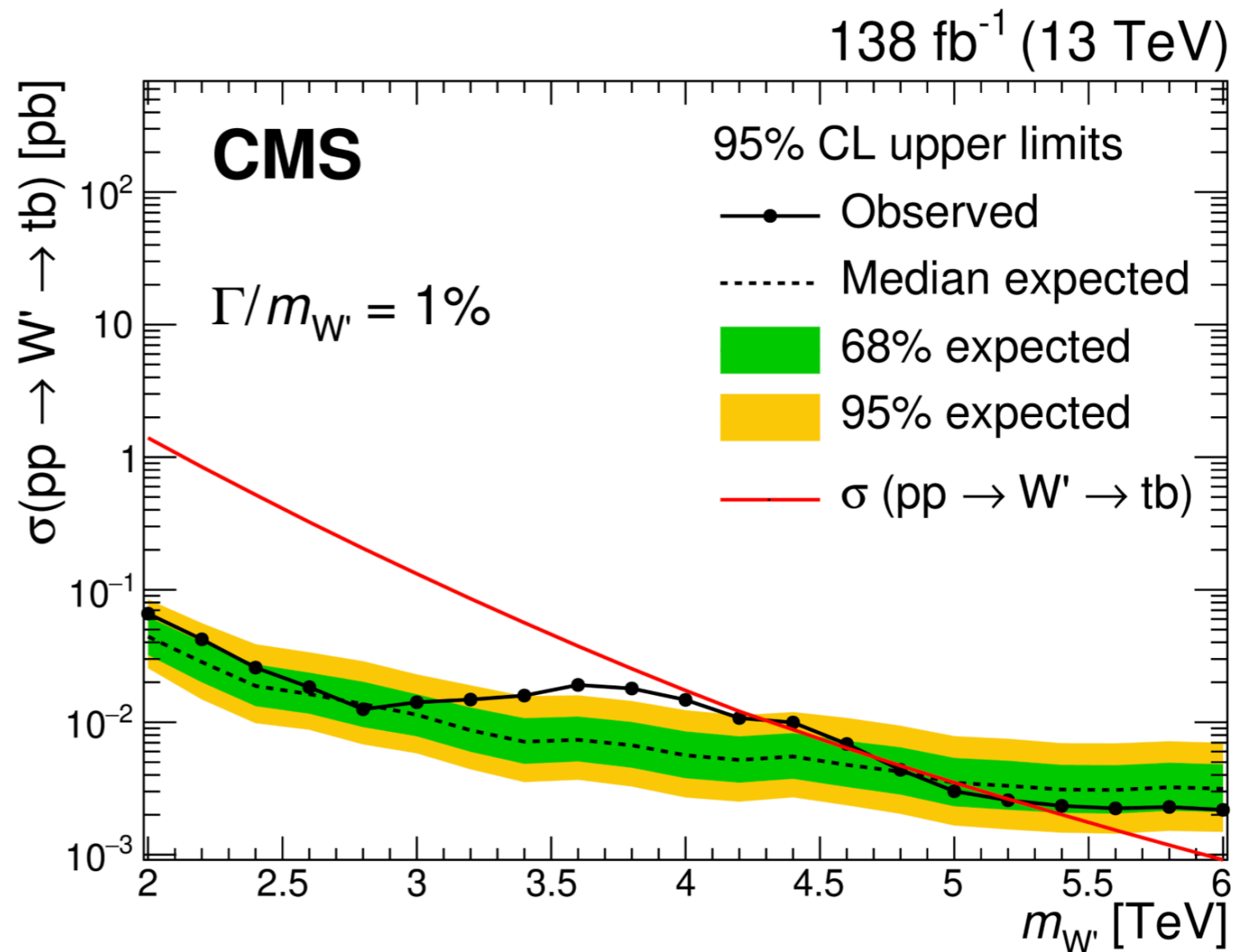
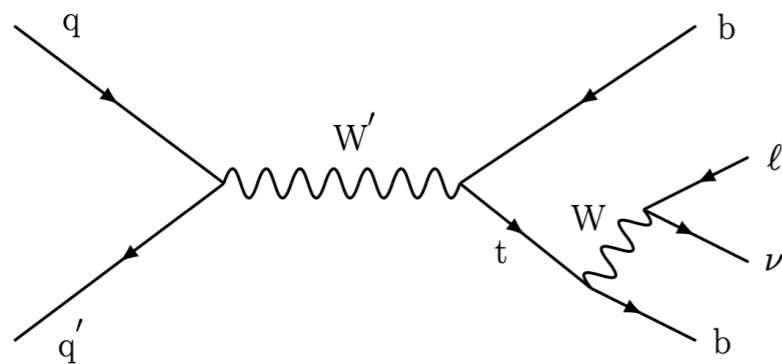
13 ТэВ: [[CMS-PAS-HIG-20-002](#)] (CLHCP2023: The 9th China LHC Physics Workshop, 16-20 Nov 2023, Shanghai (China))



Поиски W'

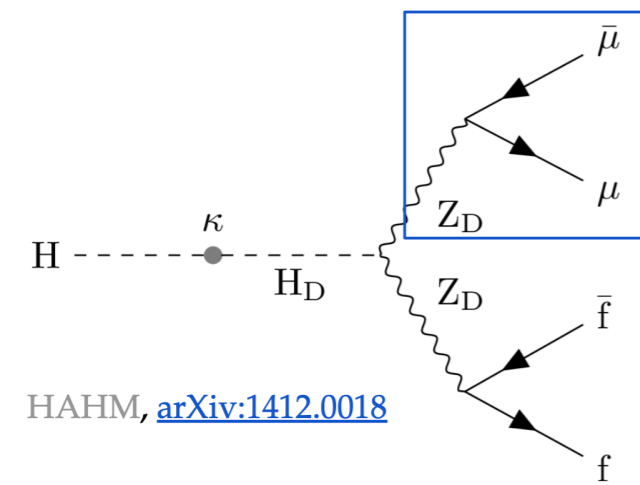
13 ТэВ: [[arXiv:2310.19893](https://arxiv.org/abs/2310.19893)] Submitted to JHEP

Значимость максимального отклонения при массе 3.8 ТэВ
 2.6σ

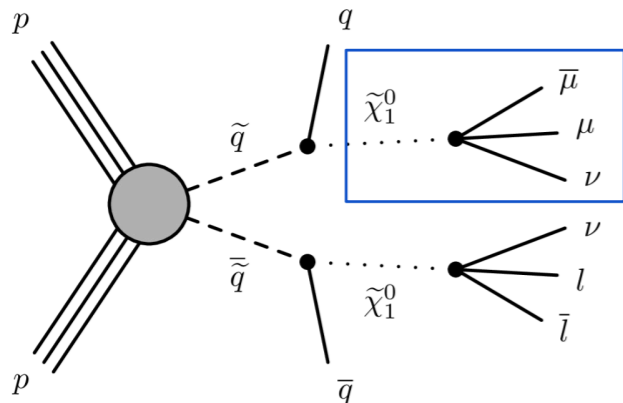


Поиски долгоживущих частиц

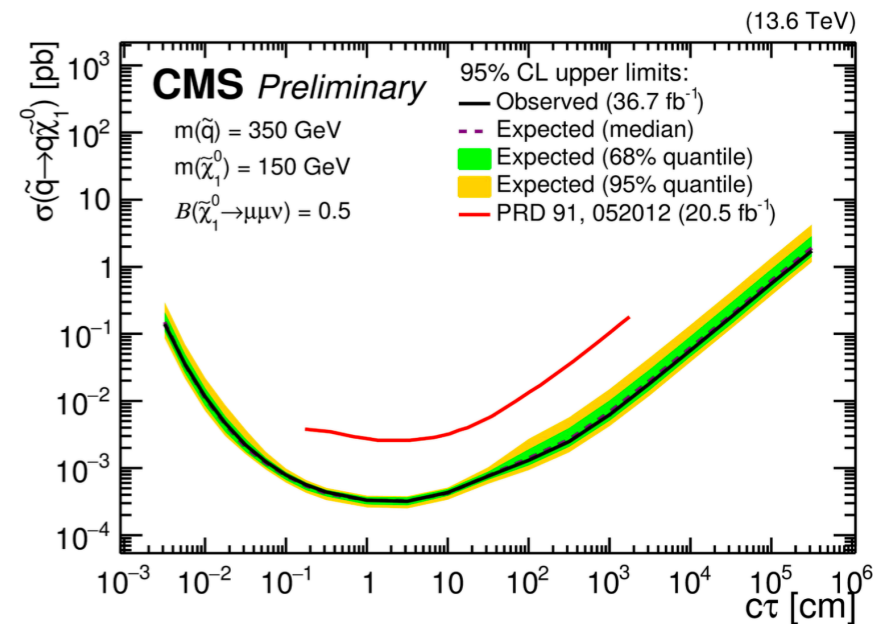
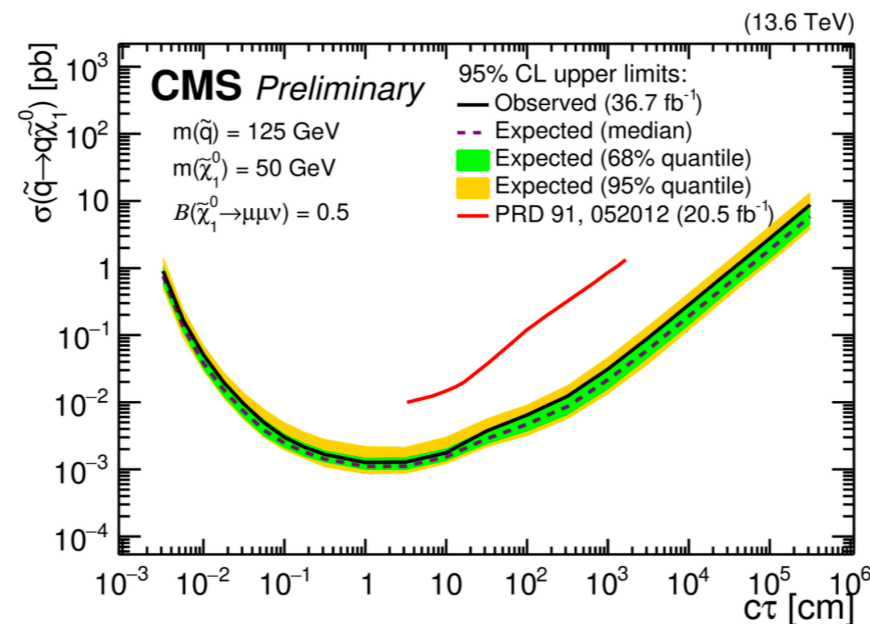
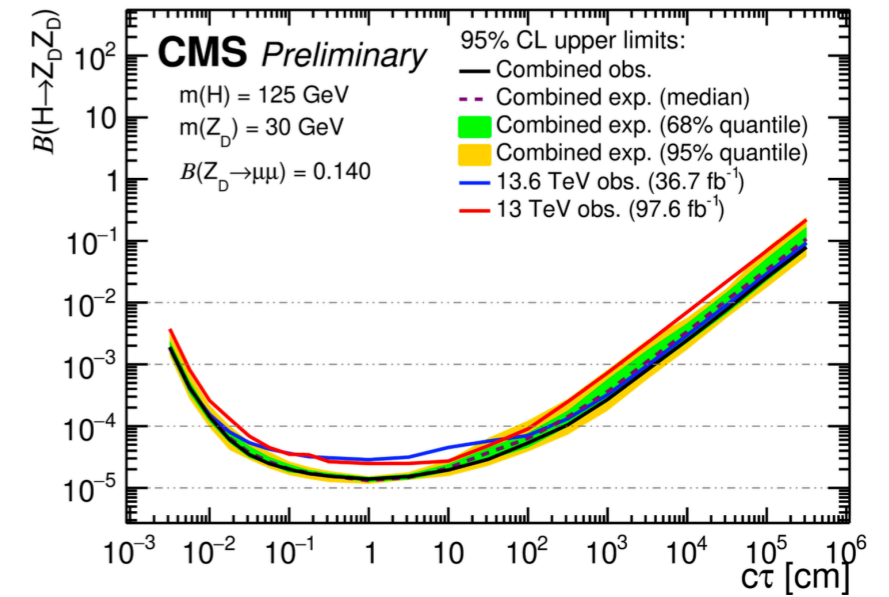
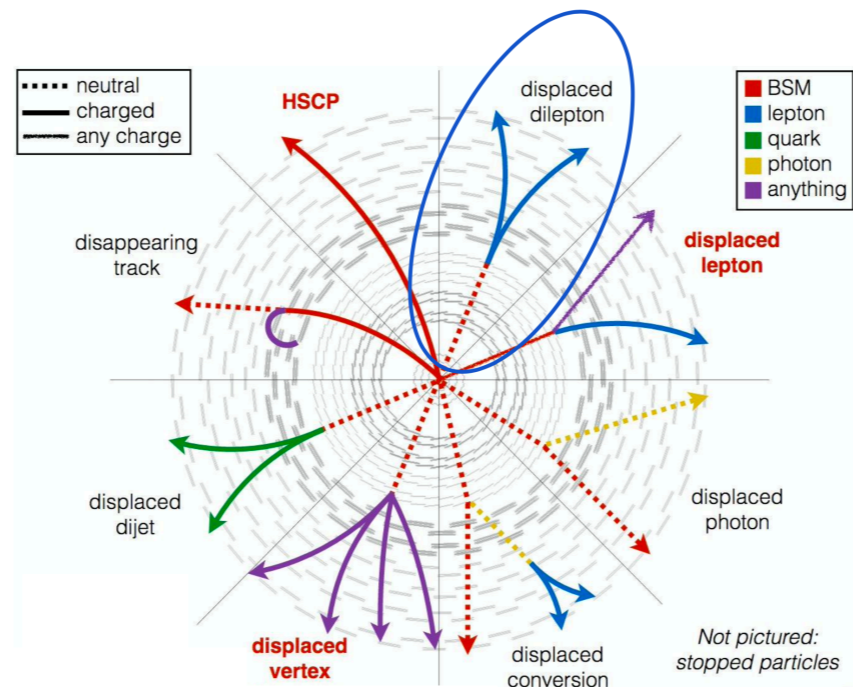
13 и 13.6 ТэВ: [\[CMS-PAS-EXO-23-014\]](#) (XV CPAN Days: CPAN, 2-6 Oct 2023, Santander (Spain))



HAHM, [arXiv:1412.0018](#)

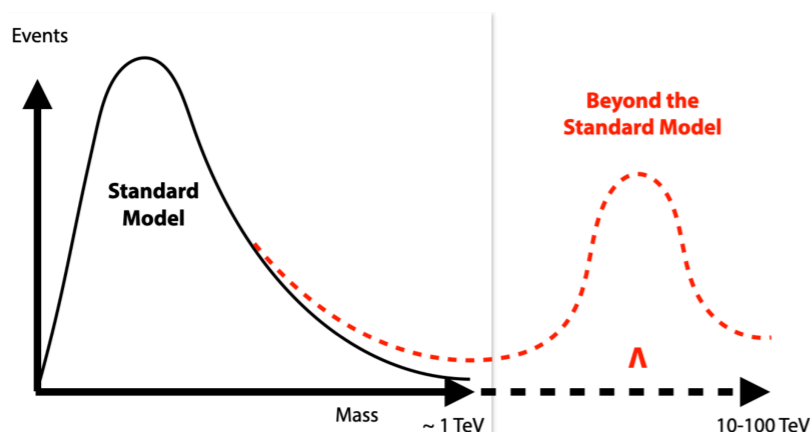


RPV SUSY, [arXiv:0406039](#)



Поиски новой физики при рождении t в контексте эффективной теории поля (EFT)

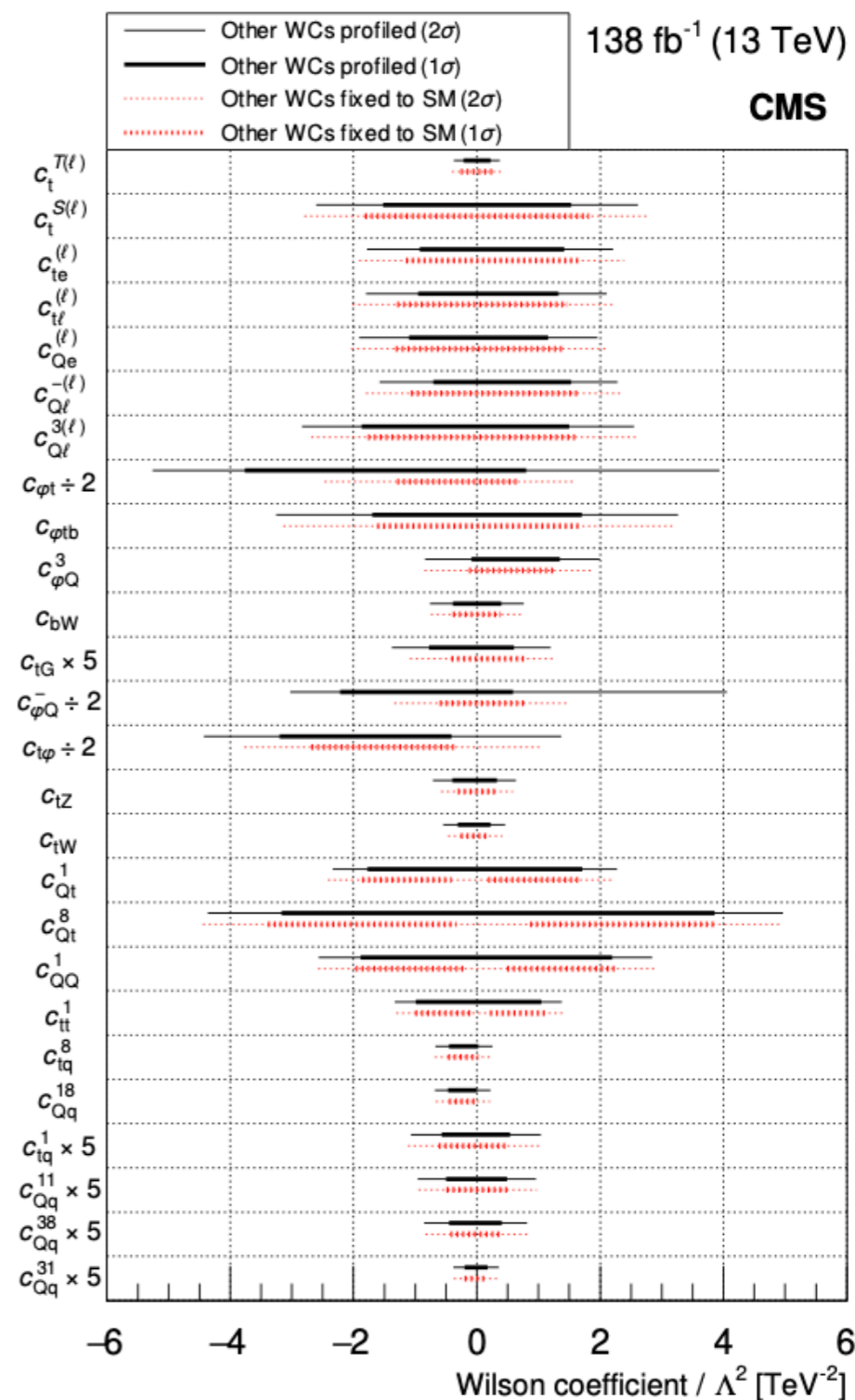
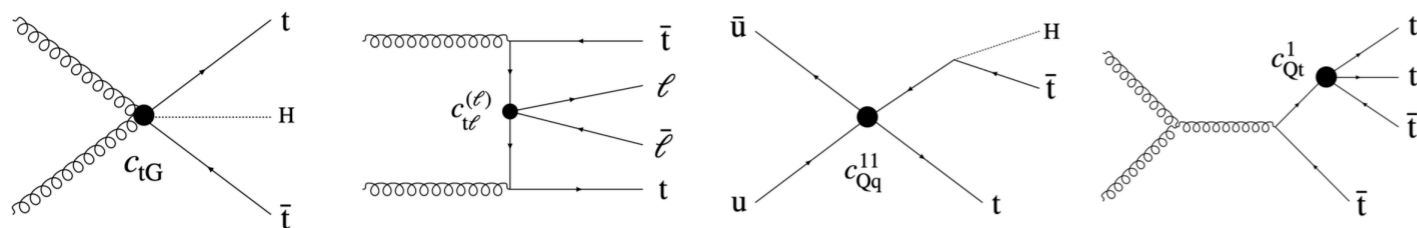
13 ТэВ: CMS Accepted for publication in JHEP
[\[arXiv:2307.15761\]](https://arxiv.org/abs/2307.15761)



$$\mathcal{L}_{\text{EFT}} = \mathcal{L}_{\text{SM}} + \sum_{d,i} \frac{c_i^d}{\Lambda^{d-4}} \mathcal{O}_i^d,$$

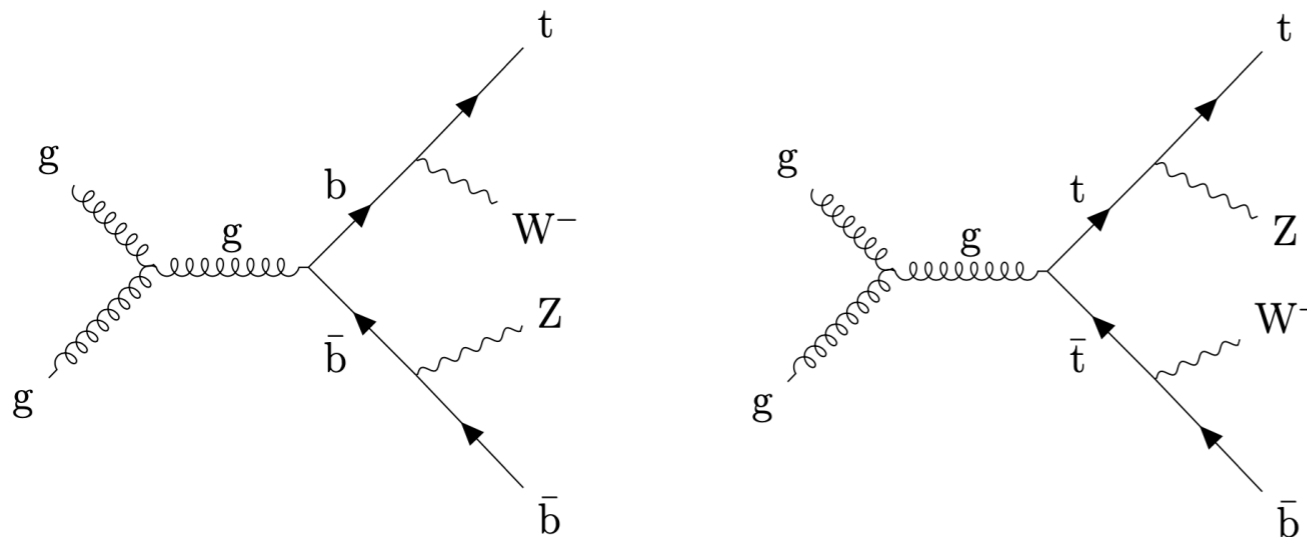
$$\mathcal{L}_{\text{SMEFT}} = \mathcal{L}_{\text{SM}} + \frac{1}{\Lambda} \sum_i e_i \mathcal{Q}_i^{(5)} + \frac{1}{\Lambda^2} \sum_j c_j \mathcal{Q}_j^{(6)} + \dots$$

(violates baryon and lepton number conservation) leading deviation from SM



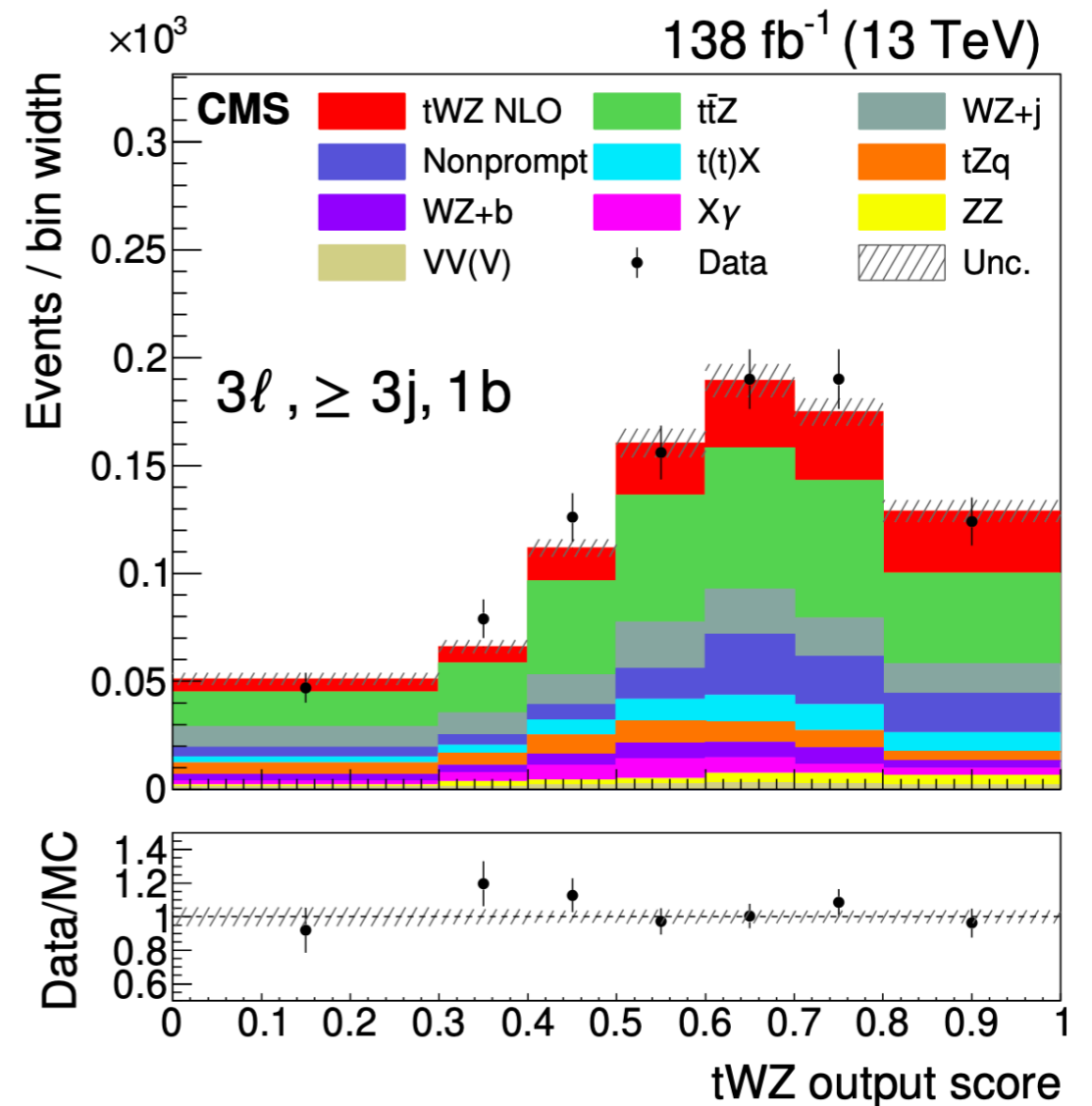
Свидетельство tWZ

13 ТэВ: CMS [[CMS-PAS-TOP-22-008](#)] Submitted to Phys. Lett. B



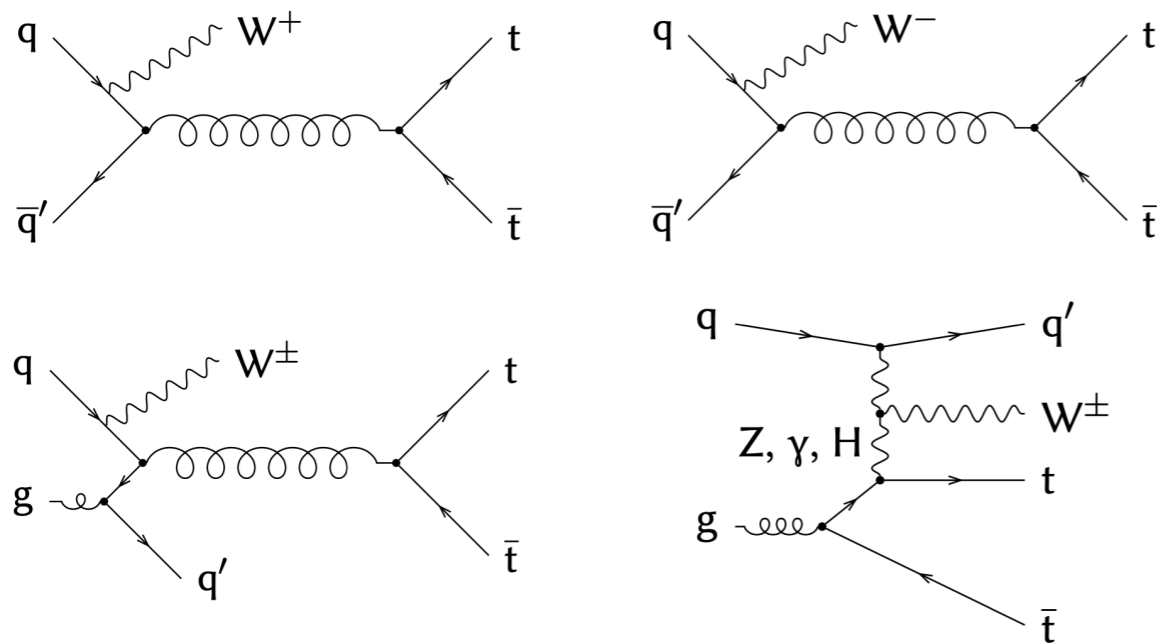
Значимость 3.4σ

Сечение $354 \pm 54 \text{ (stat)} \pm 95 \text{ (syst) fb}$

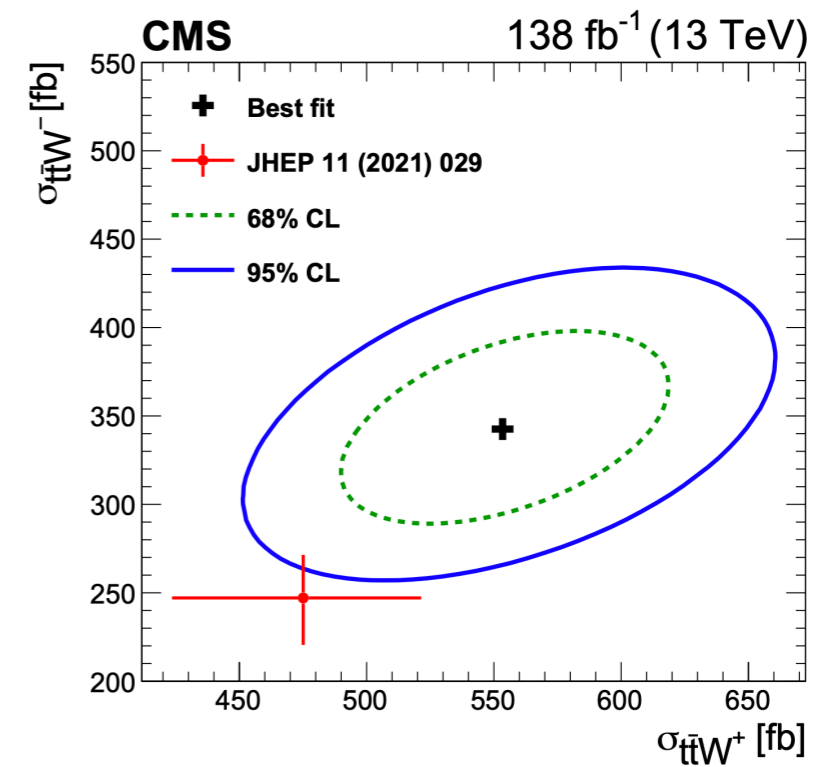
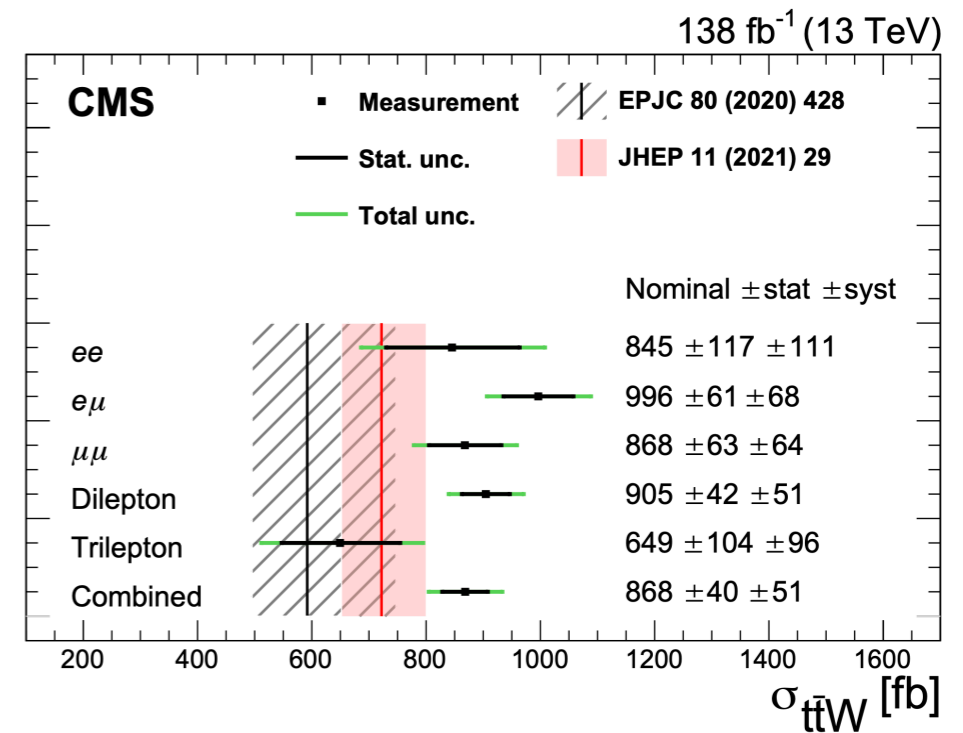


Измерение сечения рождения $t\bar{t}W$

13 ТэВ: CMS [[JHEP 07 \(2023\) 219](#)]

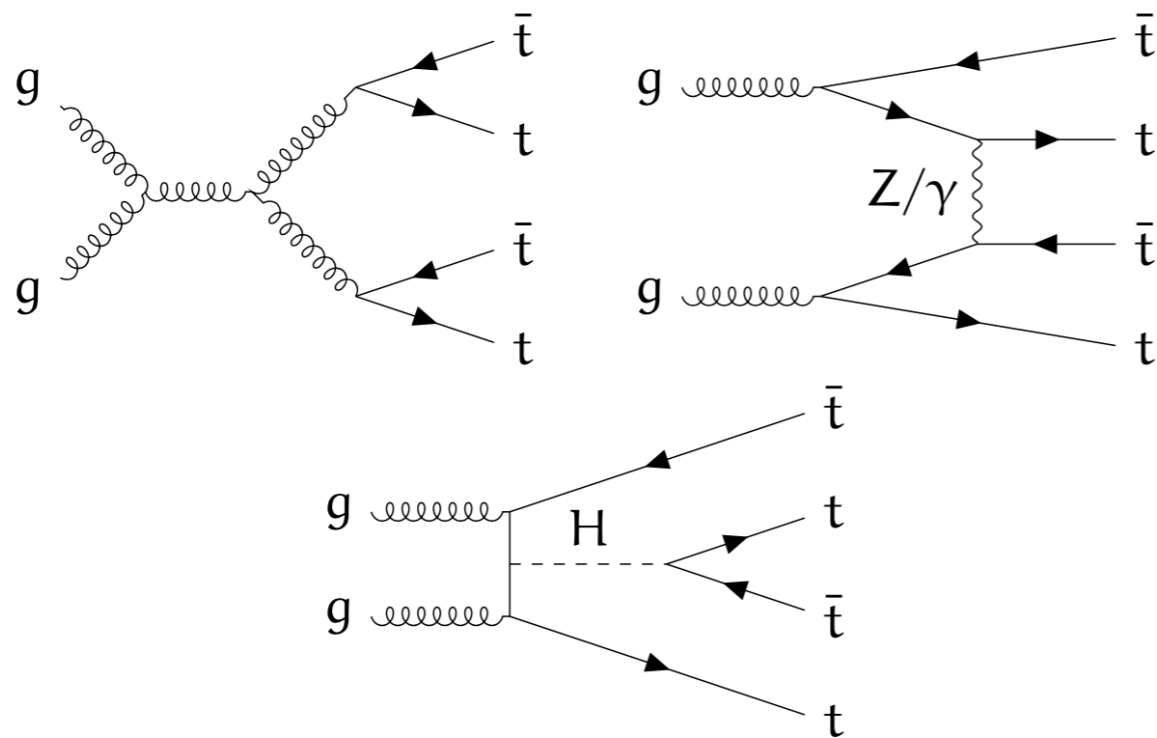


Сечение $868 \pm 40(\text{stat}) \pm 51(\text{syst}) \text{ fb}$



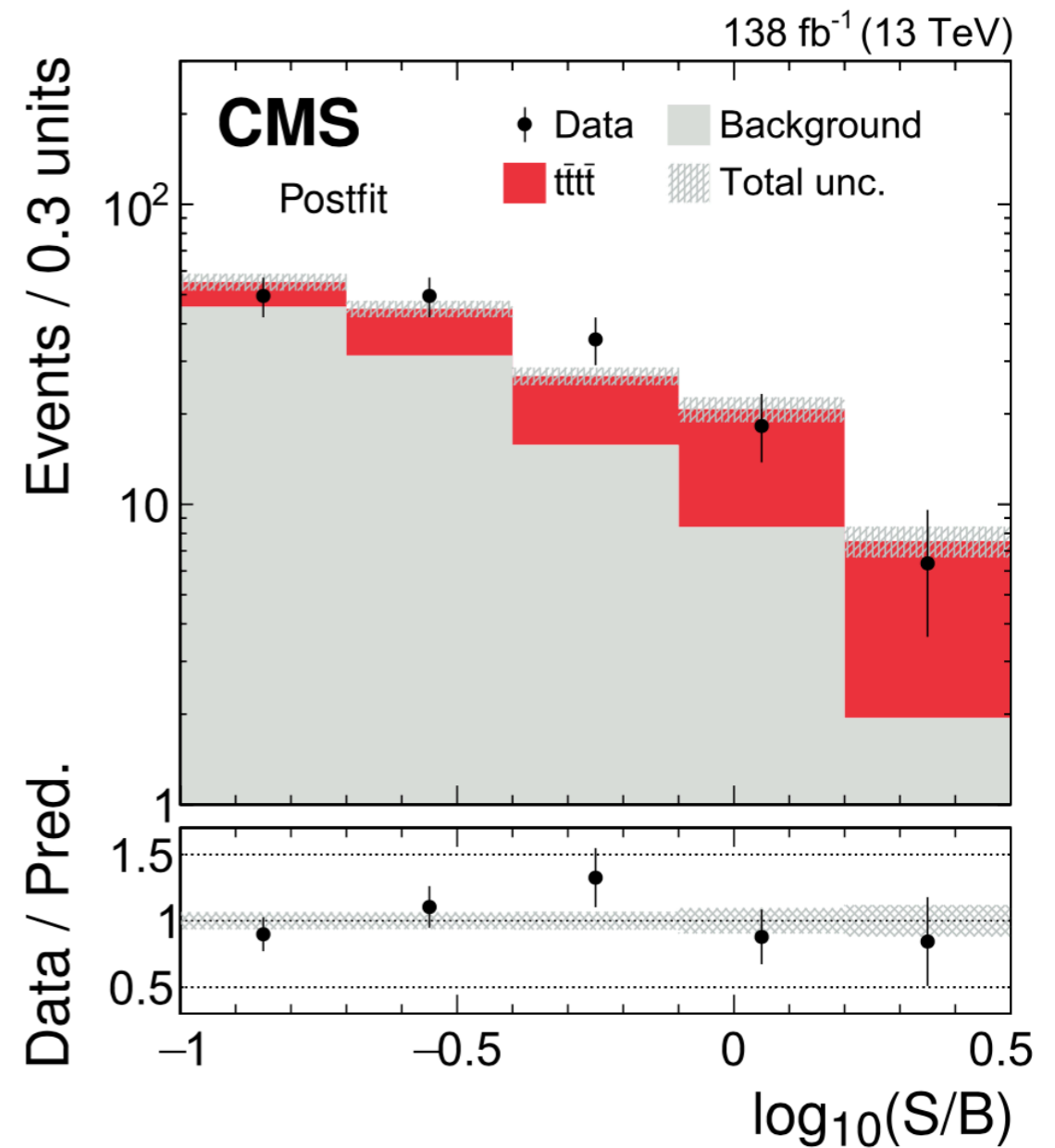
Наблюдение рождения $t\bar{t}t\bar{t}$

13 ТэВ: CMS [[Phys. Lett. B 844 \(2023\) 138076](#)]
CMS [[Phys. Lett. B 847 \(2023\) 138290](#)]



Значимость 5.6σ

Сечение $17.7^{+3.7}_{-3.5} \text{ (stat)}^{+2.3}_{-1.9} \text{ (syst) fb}$

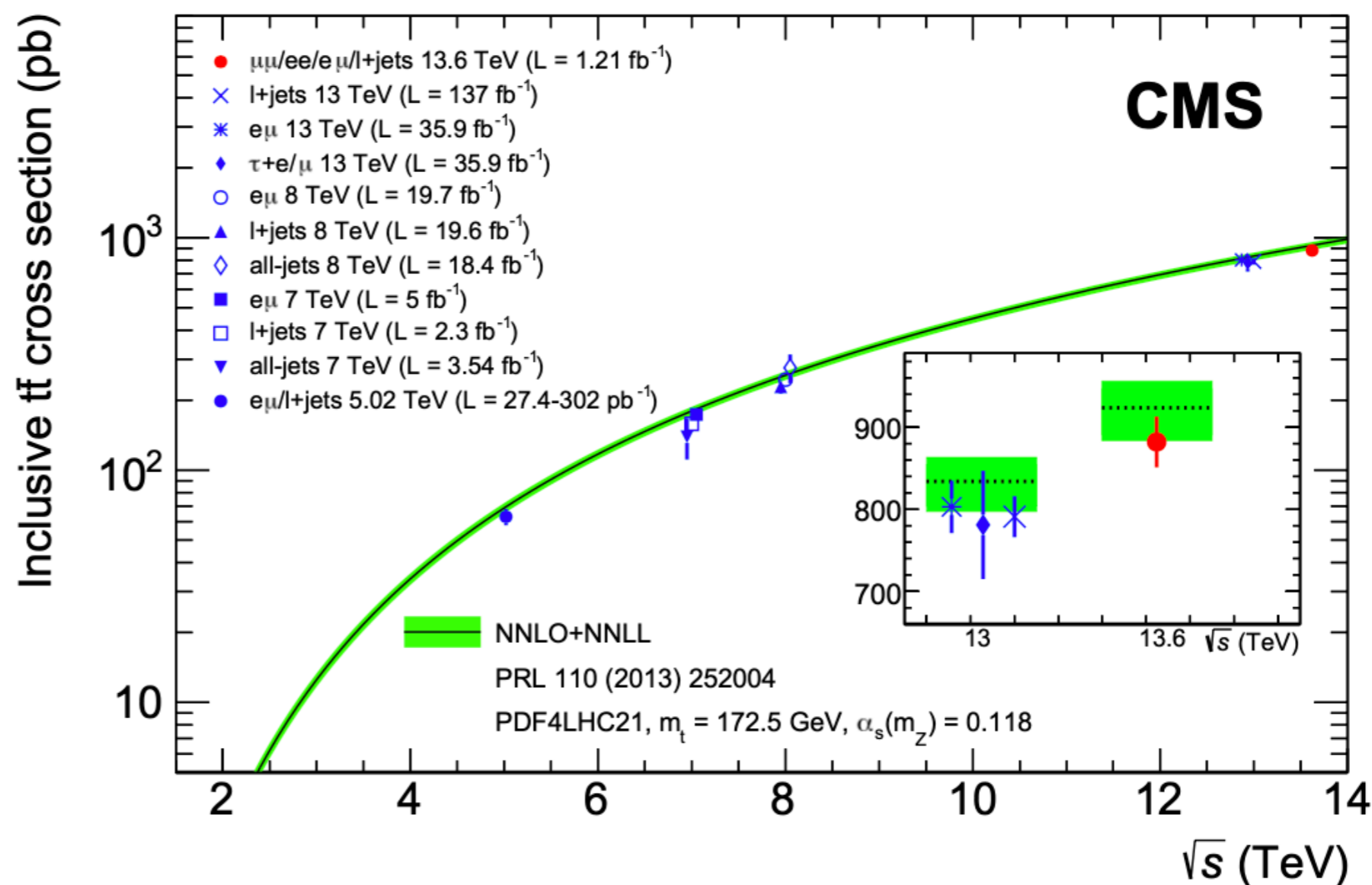




Рождение пары $t\bar{t}$ при $\sqrt{s} = 13.6$ ТэВ

13.6 ТэВ: CMS [[JHEP08\(2023\)204](#)]

881 ± 23 (stat + syst) ± 20 (lumi) pb



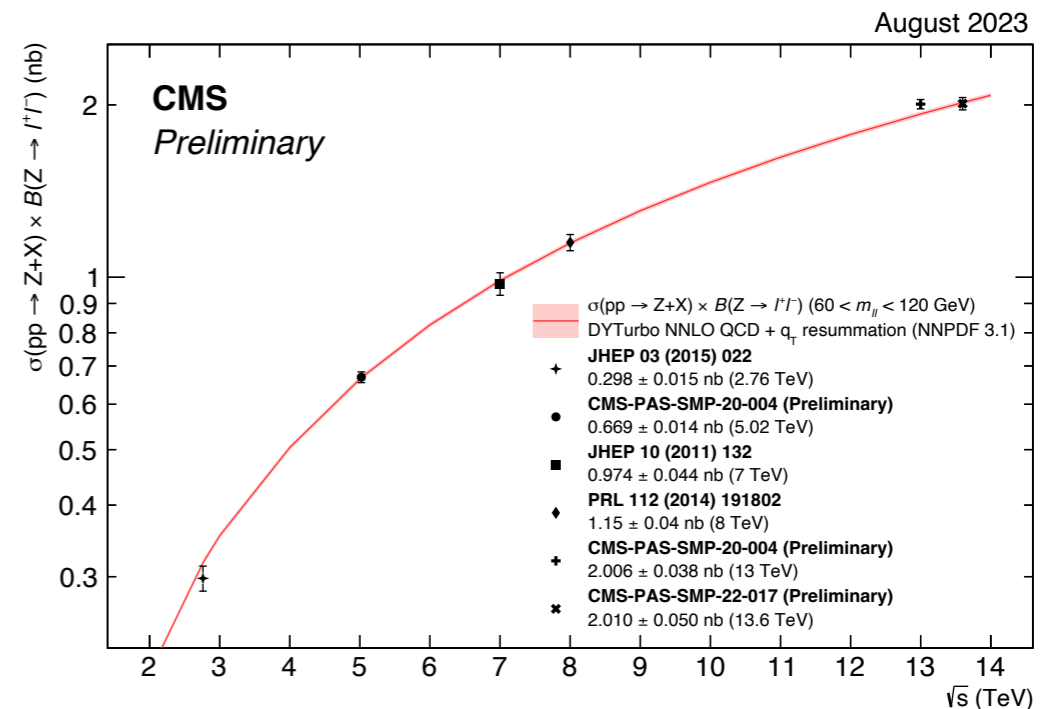
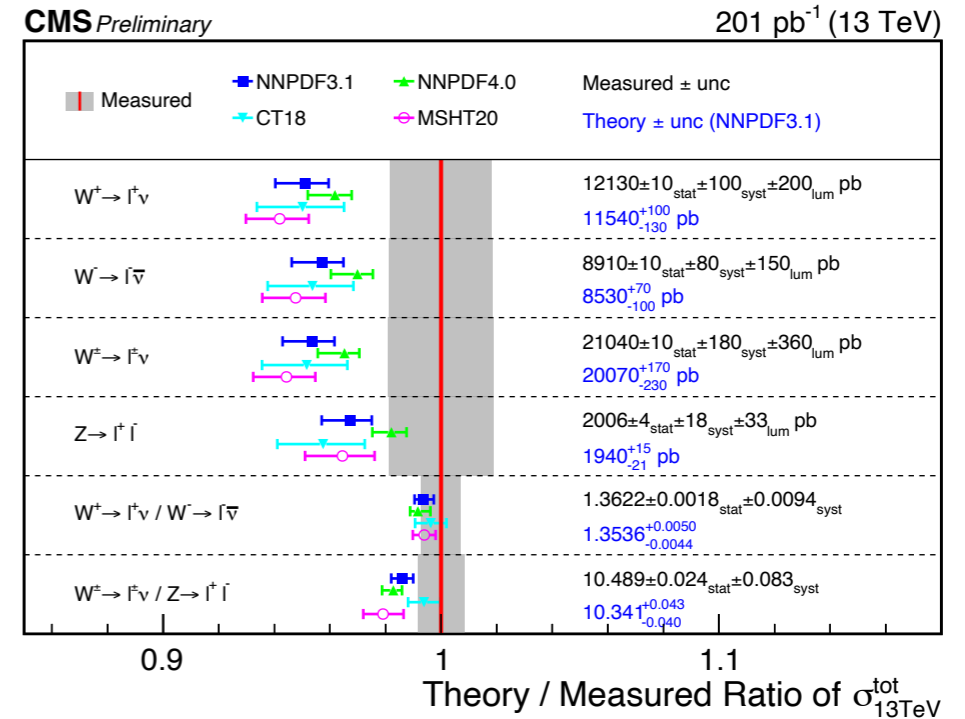
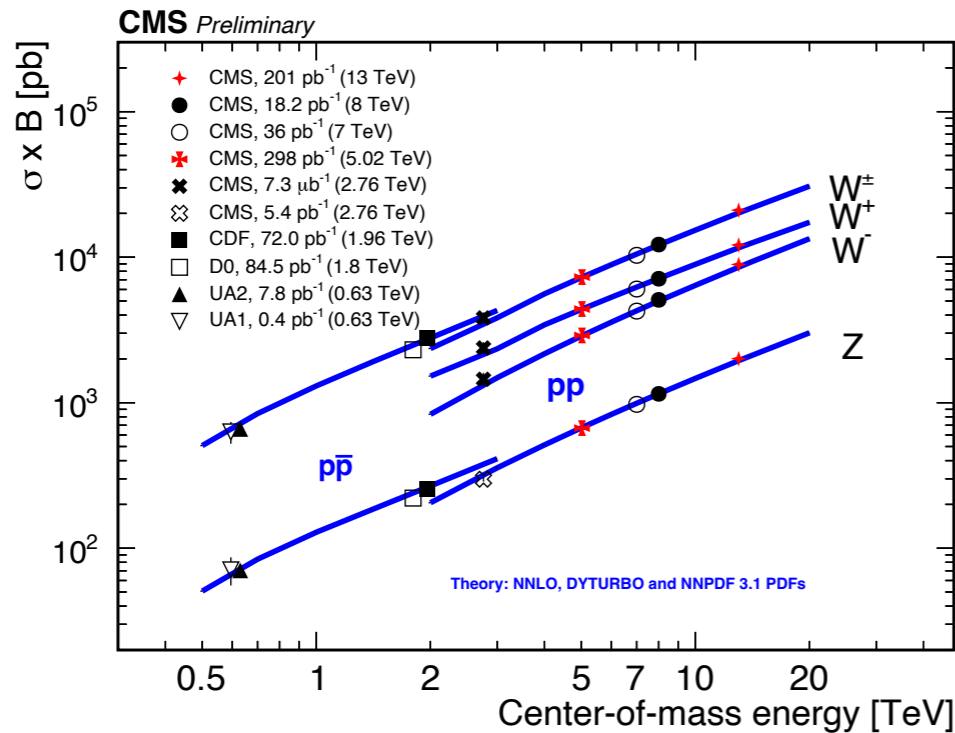


Рождение W и Z при $\sqrt{s} = 5.02, 13$ и 13.6 ТэВ

Z при 13.6 ТэВ: CMS [[CMS-PAS-SMP-22-017](#)]

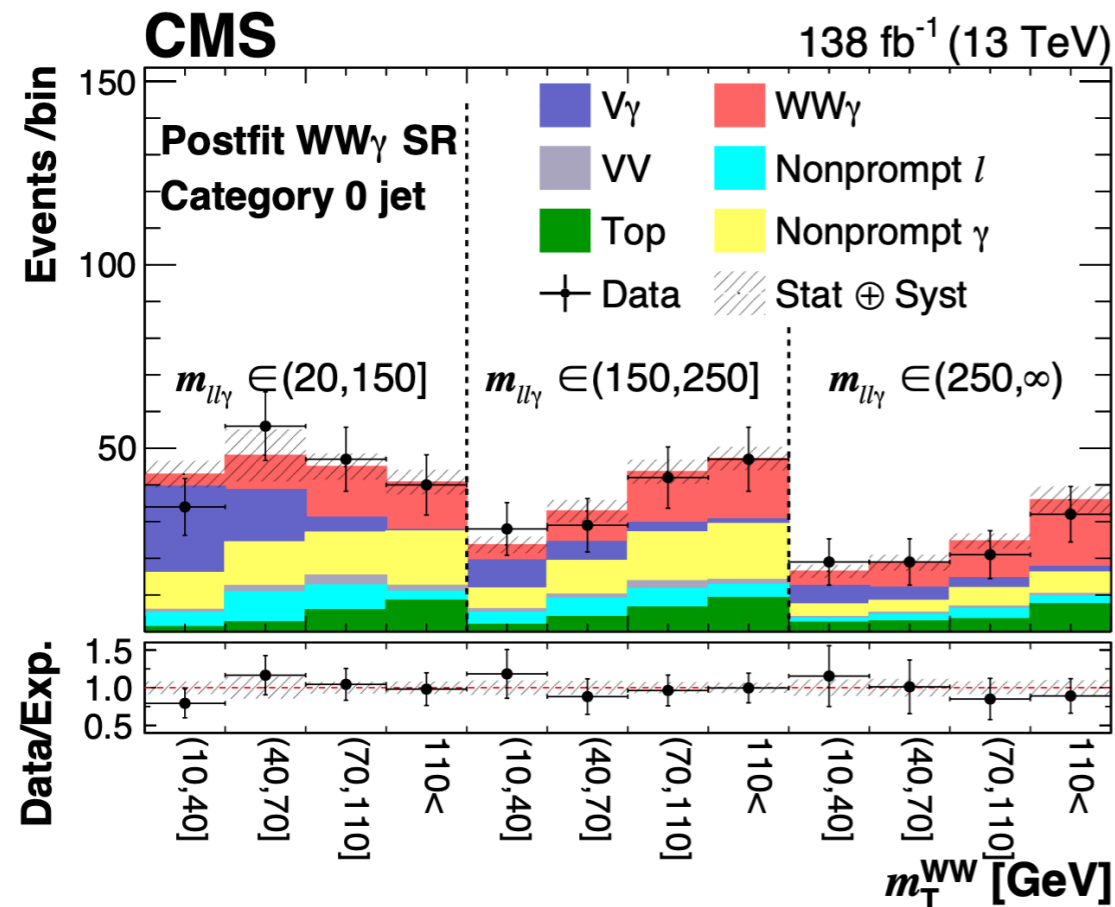
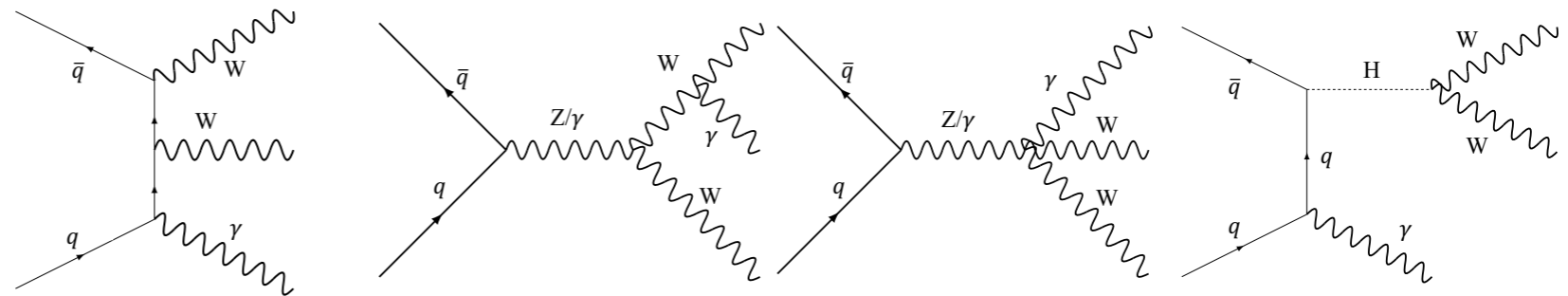
Z и W при 5.02 и 13 ТэВ: CMS [[CMS-PAS-SMP-20-004](#)]

(EPS-HEP2023: 2023, 21-25 Aug 2023, Hamburg (Germany))



Наблюдение рождения трех бозонов $WW\gamma$

13 ТэВ: CMS Submitted to Phys. Rev. Lett.
[\[arXiv:2310.05164\]](https://arxiv.org/abs/2310.05164)



Предыдущие поиски установили только верхний предел:
 8 ТэВ ($\sim 20 \text{ fb}^{-1}$)
 CMS [[Phys. Rev. D 90, 032008](#)]
 ATLAS [[Eur. Phys. J. C 77 \(2017\)](#)]

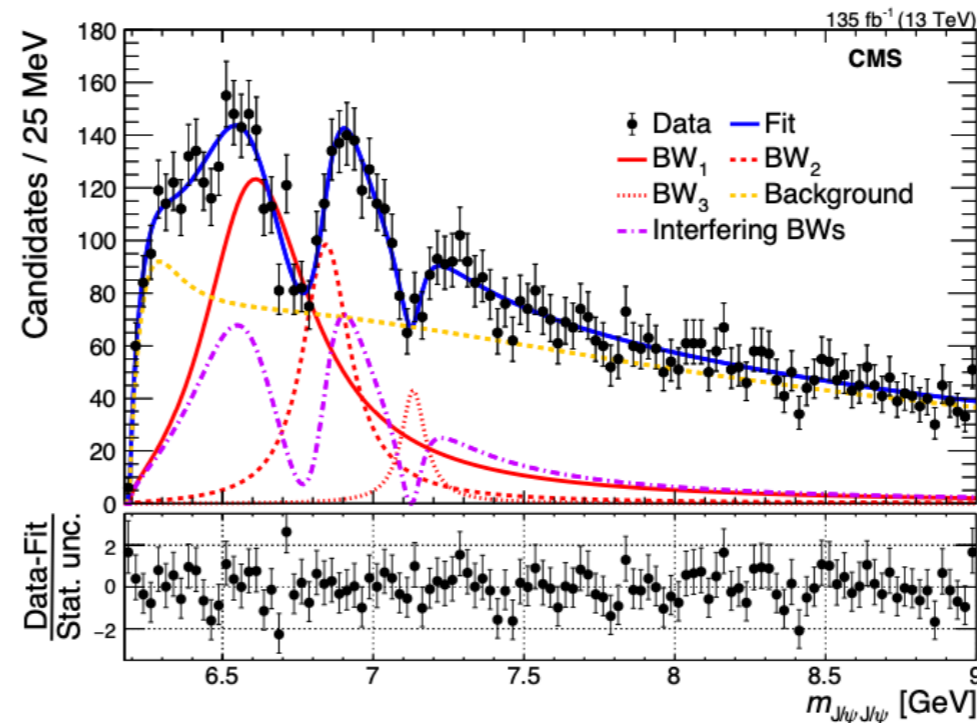
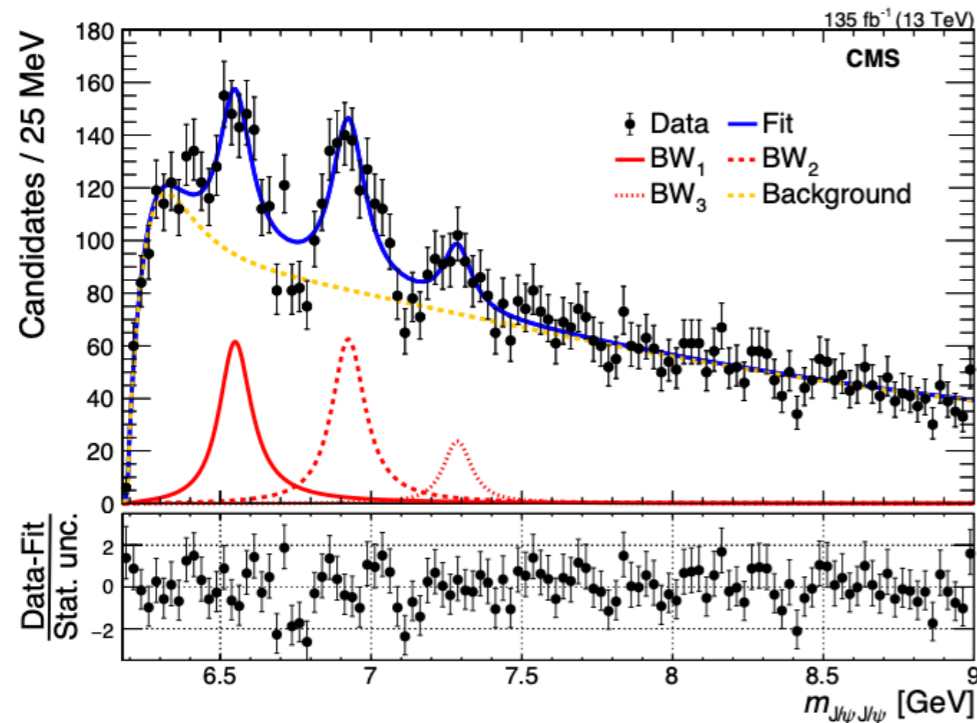
Значимость 5.6σ

Сечение

$6.0 \pm 0.8 \text{ (stat)} \pm 0.7 \text{ (syst)} \pm 0.6 \text{ (modeling)} \text{ fb}$

Наблюдение новых структур в $J/\Psi J/\Psi$ спектре масс

13 ТэВ: CMS Submitted to Phys. Rev. Lett.
[\[arXiv:2306.07164\]](https://arxiv.org/abs/2306.07164)



		BW ₁	BW ₂	BW ₃
No-interference	m [MeV]	$6552 \pm 10 \pm 12$	$6927 \pm 9 \pm 4$	$7287^{+20}_{-18} \pm 5$
	Γ [MeV]	$124^{+32}_{-26} \pm 33$	$122^{+24}_{-21} \pm 18$	$95^{+59}_{-40} \pm 19$
	N	470^{+120}_{-110}	492^{+78}_{-73}	156^{+64}_{-51}
Interference	m [MeV]	6638^{+43+16}_{-38-31}	6847^{+44+48}_{-28-20}	7134^{+48+41}_{-25-15}
	Γ [MeV]	$440^{+230+110}_{-200-240}$	191^{+66+25}_{-49-17}	97^{+40+29}_{-29-26}
Значимость		$>5 \sigma$	$>5 \sigma$	4.1σ

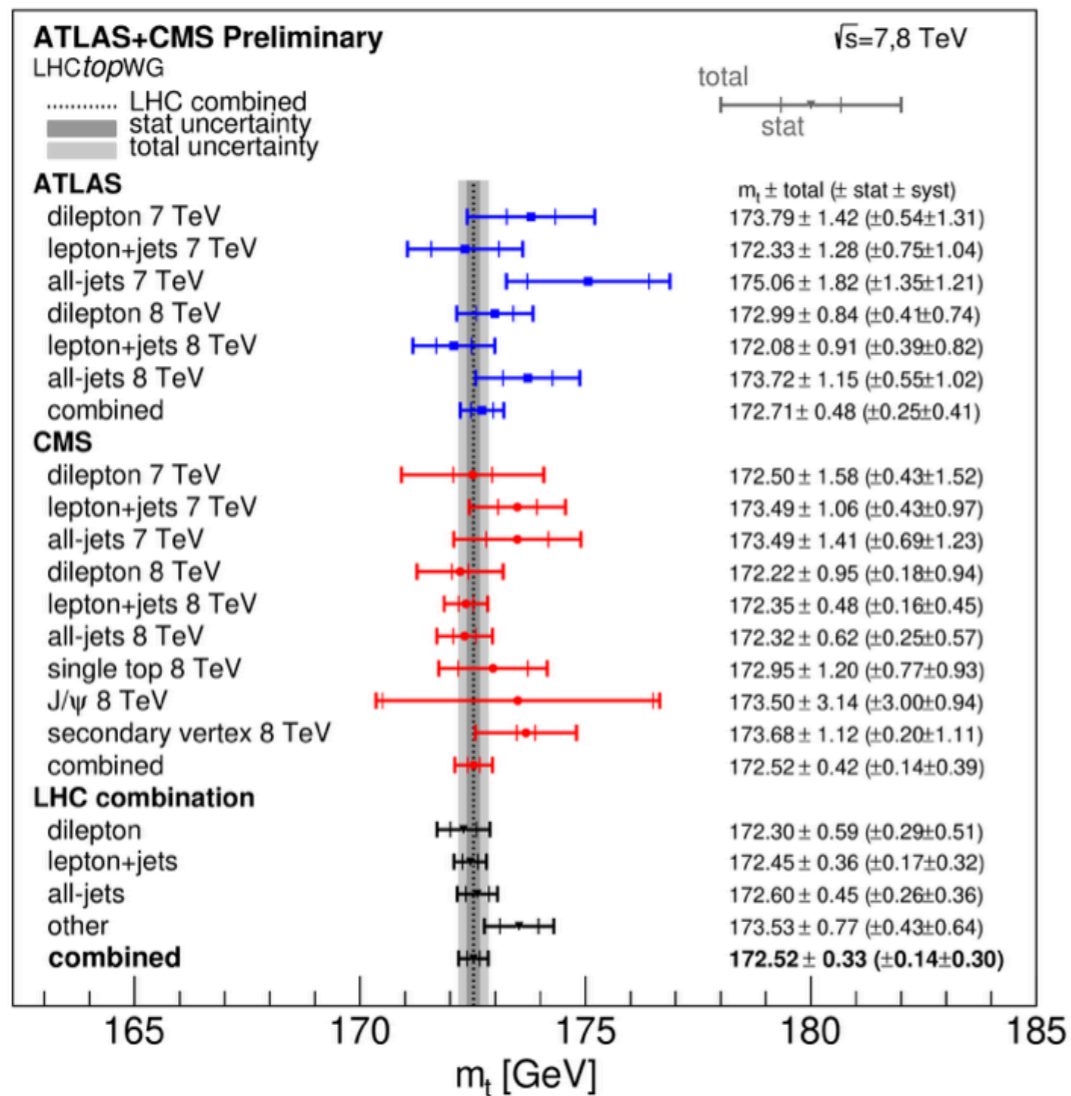
Потенциальное семейство
 тетракварковых состояний состоящих
 только из с-кварков

ATLAS & CMS

7 и 8 ТэВ:

[[CMS-PAS-TOP-22-001](#); [ATLAS-CONF-2023-066](#)]

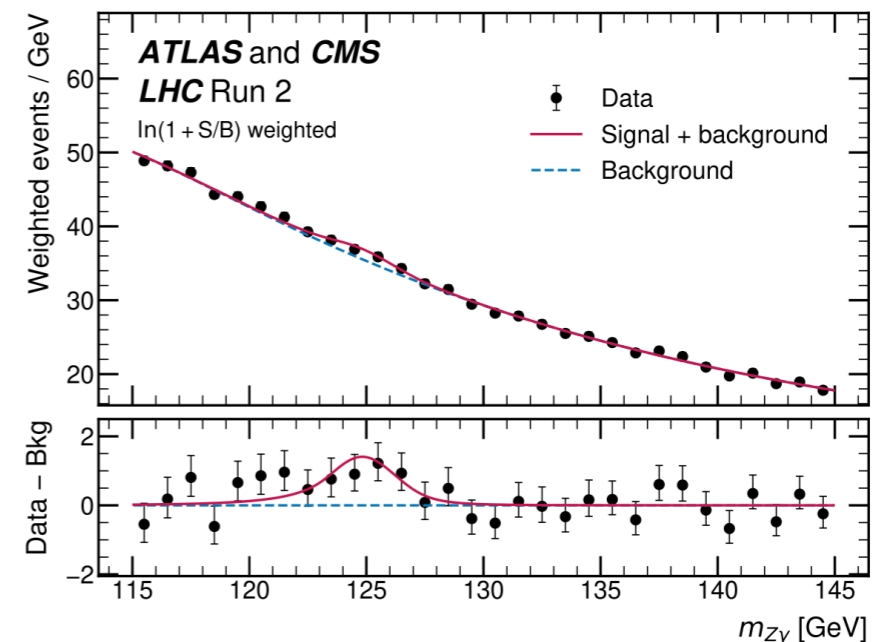
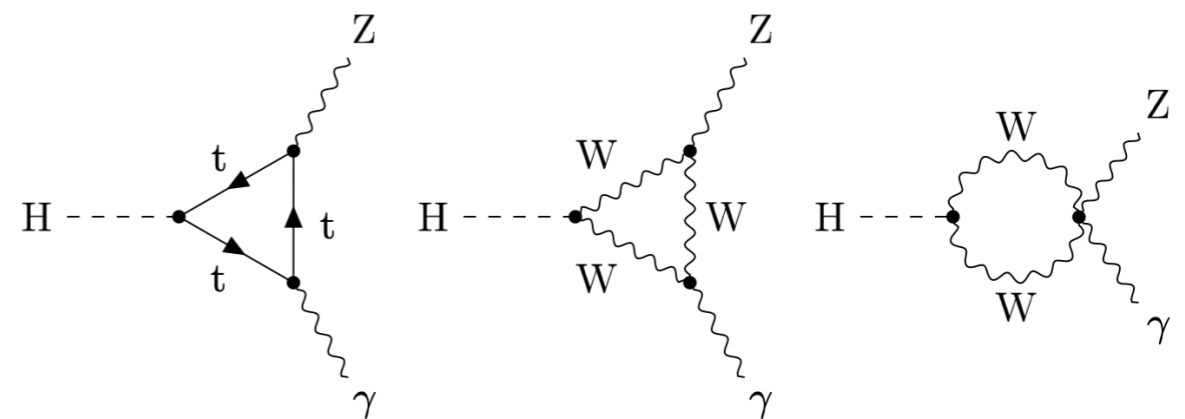
измерение массы топ кварка



13 ТэВ: CMS Submitted to Phys. Rev. Lett.

[[arXiv:2309.03501](#)]

первое свидетельство $H \rightarrow Z\gamma$ (3.4σ)



ПЛЯФ @ CMS



ПИЯФ @ CMS

Анализ:

В.Т. Ким
Е.В. Кузнецова
В.А. Мурзин
Д.Е. Соснов
В.А. Орешкин
А.Ю. Егоров

- асимптотические БФКЛ эффекты в струйных процессах
- дифракционные процессы pA
- электрослабое образование резонансов (VBF): Z, H, BSM
- бозон Хиггса при больших pT

Cathode Strip Chambers (CSC):

П.М. Левченко	С.С. Волков
В.В. Сулимов	В.Л. Головцов
Л.А. Щипунов	И.Б. Смирнов
Ю.М. Иванов	Е.В. Кузнецова
М.Ю. Иванов	В.Т. Ким
Ю.А. Гавриков	В.А. Мурзин
С.А. Вавилов	В.А. Орешкин
Л.Н. Уваров	Д.Е. Соснов
Г.Е. Гаврилов	А.Ю. Егоров

- поддержка
- модернизация
- участие в сменах
- исследования по радиационной стойкости
- исследование газовых смесей
- HV и LV системы

ПИЯФ @ CSC

- Обслуживание систем:
 - размещение и замена датчиков температуры
- Низковольтная система (LV):
 - внедрение системы считывания состояния LV
- Высоковольтная система (HV):
 - калибровка модулей
- Анализ данных систем CSC:
 - мониторинг температур системы охлаждения оборудования
 - мониторинг стабильности системы HV
- Исследование радиационной стойкости CSC на GIF++
- Исследование газовых смесей для CSC
- Работа по проверке, ремонту и поддержке систем CSC
- Работы включены в существующие рабочие планы CMS





Публикации с участием группы ПИЯФ

- асимптотические БФКЛ эффекты в двухструйных процессах:

7 ТэВ: CMS [[Eur. Phys. J. C 72 \(2012\) 2216](#)] - отношения двухструйных сечений

CMS [[JHEP 08 \(2016\) 139](#)] - азимутальные декорреляции в двухструйных сечениях

2.76 ТэВ: CMS [[JHEP03\(2022\)189](#)] - двухструйные сечения и отношений двухструйных сечений

A.Iu.E. & V.T.K. [[Phys. Rev. D 108 \(2023\) 014010](#)] - NLL BFKL расчеты для двухструйных сечений и отношений двухструйных сечений (новые указания на проявление БФКЛ эффектов)

- дифракционные процессы pA:

pPb 8.16 ТэВ: CMS [[Phys. Rev. D 108 \(2023\)092004](#)] - первое измерение форвардных быстротных интервалов в pPb процессах на LHC. (предыдущие измерения при энергии менее чем в 300 раз)

- электрослабое образование резонансов:

7 ТэВ: CMS [[JHEP 10 \(2013\) 062](#)] - (Z_{jj}) - первое измерение ассоциированного рождения Z с парой струй

8 ТэВ: CMS [[Eur. Phys. J. C 75 \(2015\) 66](#)] - Z_{jj}

13 ТэВ: CMS [[Eur. Phys. J. C 78 \(2018\) 589](#)] - Z_{jj}

- методы реконструкции в CSC:

I.B. Smirnov [[Nucl.Instrum.Meth.A 1055 \(2023\) 168496](#)] - Алгебраические методы реконструкции координат в CSC

I.B. Smirnov [[JINST 18 \(2023\) 06, C06001](#)] - Алгебраические методы реконструкции координат в стриповых детекторах



Публикации 2023

- асимптотические БФКЛ эффекты в двухструйных процессах:

2.76, 8 и 13 ТэВ: A.Iu.E. & V.T.K. [[Phys. Rev. D 108 \(2023\) 014010](#)] - Сравнение NLL BFKL расчетов для двухструйных сечений с измерениями CMS и предсказания для отношений двухструйных сечений (новые указания на проявление БФКЛ эффектов)

- дифракционные процессы pA:

pPb 8.16 ТэВ: CMS [[Phys. Rev. D 108 \(2023\)092004](#)] - первое измерение форвардных быстротных интервалов в pPb процессах на LHC. (предыдущие измерения при энергии менее чем в 300 раз)

- методы реконструкции в CSC:

I.B. Smirnov [[Nucl.Instrum.Meth.A 1055 \(2023\) 168496](#)] - Алгебраические методы реконструкции координат в CSC

I.B. Smirnov [[JINST 18 \(2023\) 06, C06001](#)] - Алгебраические методы реконструкции координат в стриповых детекторах

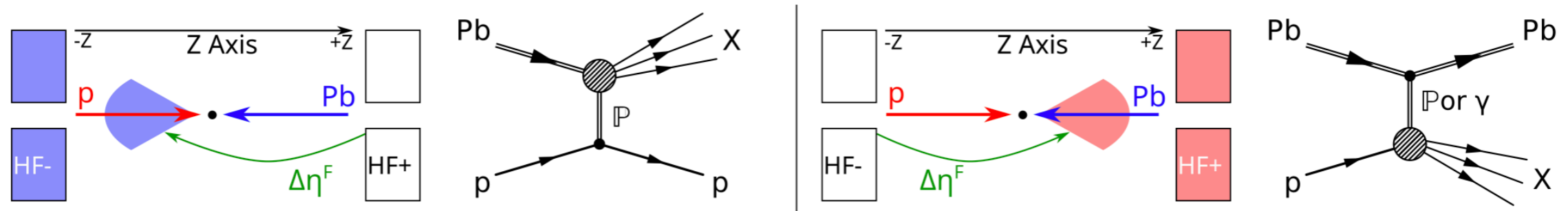


Доклады на конференциях 2023:

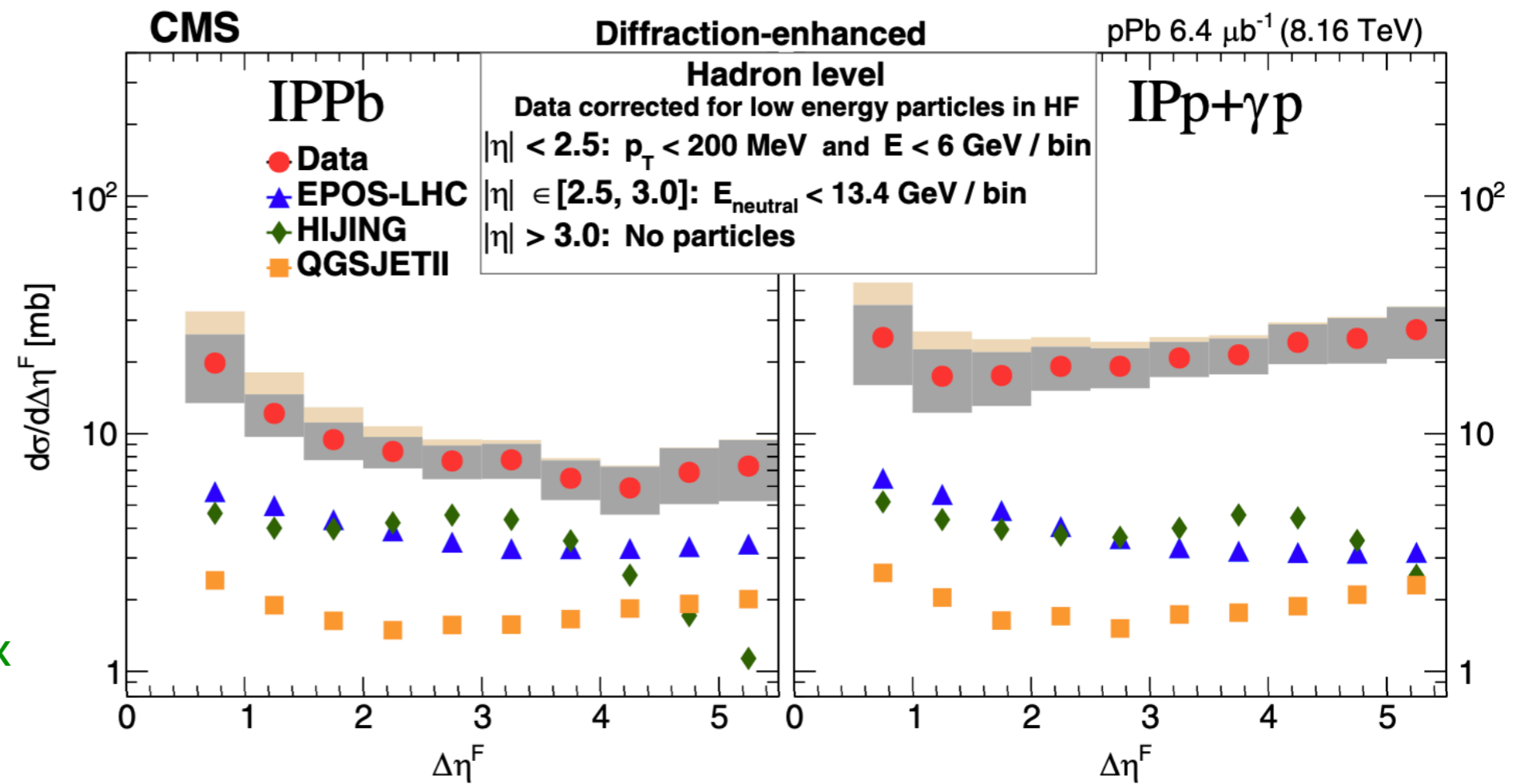
- 55-я Зимняя школа ПИЯФ 2023 - 3 доклада (Луга, Россия):
 - В.Т. Ким “Физика Большого адронного коллайдера: бозон Хиггса, Стандартная Модель и поиски Новой физики”
 - А.Ю. Егоров “Поиски асимптотических эффектов БФКЛ в двухструйных процессах на БАК”
 - Д.Е. Соснов “Дифракционное p -А рассеяние на БАК”
- 21-я Международная Ломоносовская конференция по физике элементарных частиц (Москва, Россия):
 - А.Ю. Егоров “The next-to-leading approximation of BFKL for dijet production with large rapidity separation between jets at the LHC”
- 6th International School on High-Energy Physics and Accelerator Technology (Алматы, Казахстан):
 - В.Т. Ким “Physics at Large Hadron Collider”
- Workshop “Search for the ECO-friendly gas-mixtures for the muon detectors at LHC and beyond” (Белград, Сербия):
 - Е.В. Кузнецова “CF₄ use and perspectives for reduction or replacement”
- 73-я международная конференция по ядерной физике «ЯДРО-2023: Фундаментальные вопросы и приложения» (Саров, Россия):
 - Г.Е. Гаврилов “Поиск точечных эмиссионных центров методами атомно-силовой микроскопии на катоде многопроволочной пропорциональной камеры из эксперимента на БАК.”

Форвардные быстротные интервалы в pPb при $\sqrt{s_{NN}} = 8.16$ ТэВ

pPb 8.16 ТэВ: CMS [[Phys. Rev. D 108 \(2023\)092004](https://arxiv.org/abs/2304.09200)] - первое измерение форвардных быстротных интервалов в pPb процессах на LHC. (предыдущие измерения при энергии менее чем в 300 раз)

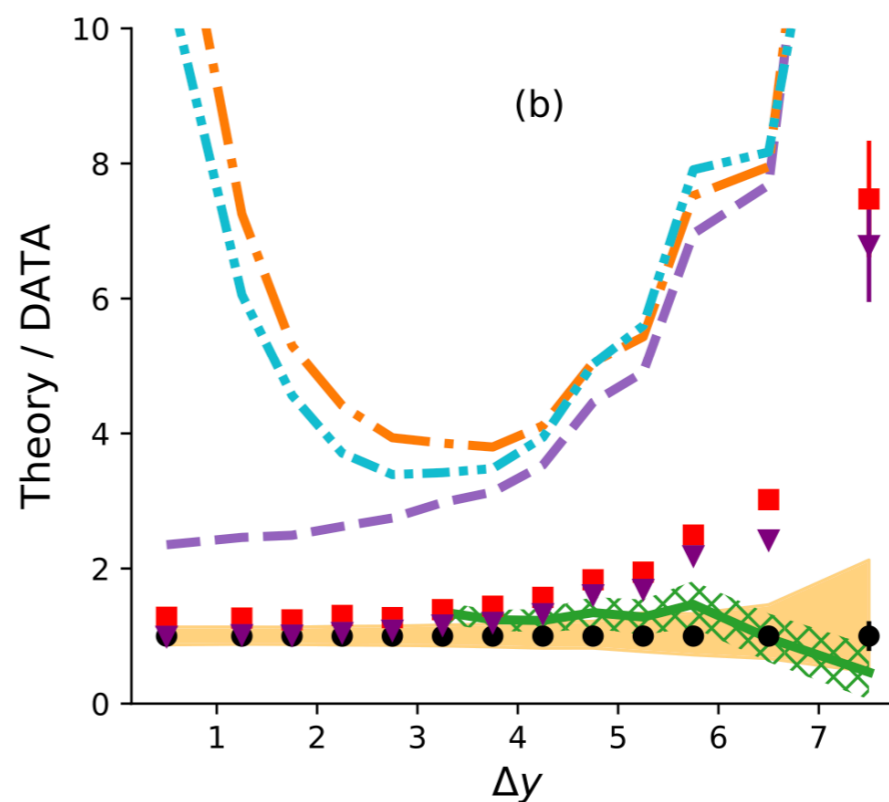
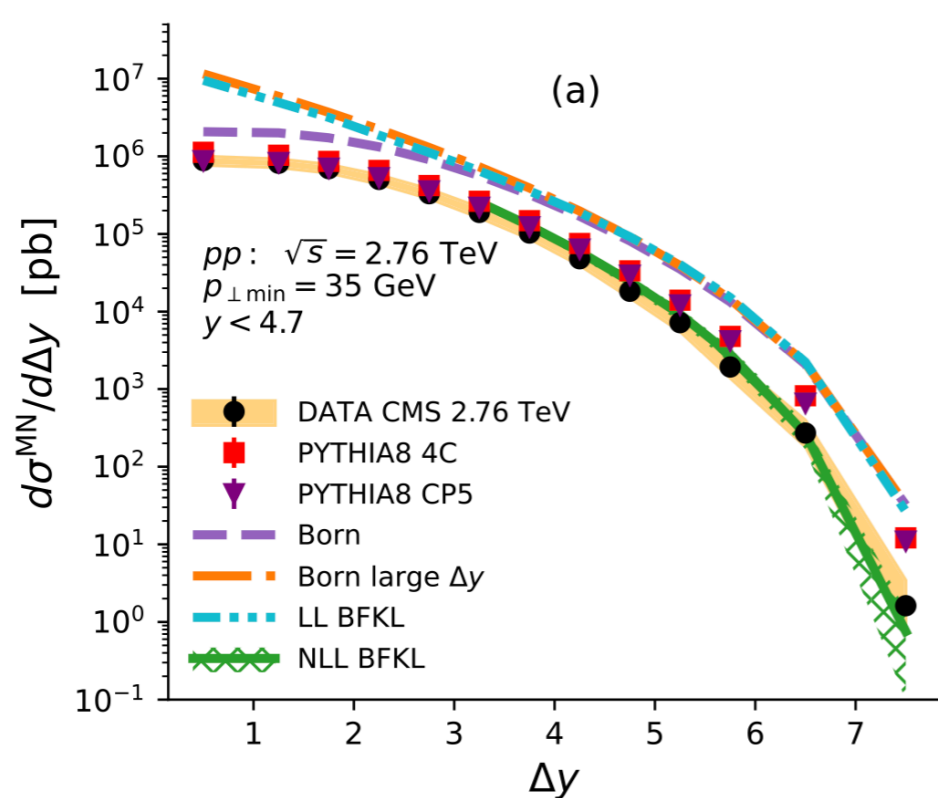


- Наряду с померонным обменом требуется учет значительного вклада фотонного обмена в ультрапериферических столкновениях



Новые указания на проявление эффектов БФКЛ

2.76 ТэВ: CMS [[JHEP03\(2022\)189](#)] - двухструйные сечения и отношений двухструйных сечений
 A.Iu.E. & V.T.K. [[Phys. Rev. D 108 \(2023\) 014010](#)] - NLL BFKL расчеты для двухструйных сечений и отношений двухструйных сечений
 (новые указания на проявление БФКЛ эффектов)



Предсказания для $\sqrt{s} = 8$ и 13 ТэВ также представлены, которые могут быть проверены на CMS



Заключение

- За Run 3 набрано:
 - pp 13.6 ТэВ $\sim 67 \text{ fb}^{-1}$,
 - PbPb 5.36 ТэВ $\sim 1.82 \text{ nb}^{-1}$ (впервые набраны ультрапериферические события)
- Получено много новых результатов по полной статистике Run 2 по физике бозона Хиггса, топ кварка, электрослабым процессам с участием нескольких бозонов.
- Поиски Новой физики пока не обнаружили значимых отклонений от Стандартной модели.
- С участием группы ПИЯФ получены новые результаты по поиску эффектов БФКЛ в pp и измерению дифракционных процессов в pPb при ТэВ-ных энергиях.
- Группа ПИЯФ продолжает большую работу по поддержке и совершенствованию CSC.



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

С НАСТУПАЮЩИМ НОВЫМ ГОДОМ!