

Исследование фотон-фотонных и фотон-ядерных взаимодействий в ультра-периферических столкновениях ядер на коллайдере LHC

по материалам диссертации, представляемой на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

по научной специальности 1.3.15. Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий

Назар Бурмасов
НИЦ КИ - ПИЯФ, ЛРЯФ

Научный руководитель — Крышень Евгений Леонидович, д.ф.-м.н.

Содержание

Введение	4	3
Глава 1. Моделирование фотон-фотонных и фотоядерных взаимодействий в ультрапериферических столкновениях	14	
1.1. Фотон-фотонные взаимодействия в ультрапериферических столкновениях . . .	15	
1.2. Расчет элементарных сечений двухфотонных процессов	19	
1.2.1. Эксклюзивное рождение пар лептонов	19	2.5.1. Реконструкция треков в мюонном спектрометре 61
1.2.2. Рассеяние света на свете	28	2.5.2. Оценка эффективности реконструкции треков 63
1.2.3. Рождение пар нейтральных π^0 -мезонов	30	2.6. Моделирование Монте-Карло ультрапериферических событий 68
1.2.4. Рождение скалярных аксионоподобных частиц	32	2.7. Основные выводы 70
1.3. Когерентное фоторождение тяжелых векторных мезонов в ультрапериферических столкновениях	33	Глава 3. Измерения сечений когерентного фоторождения J/ψ- и $\psi(2S)$-мезонов и эксклюзивного рождения пар мюонов в ультрапериферических Pb-Pb столкновениях при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 5.36$ ТэВ
1.3.1. Потоки фотонов и дополнительные обмены фотонами между ядрами .	34	71
1.3.2. Ядерные экранировки	36	3.1. Анализ Pb-Pb столкновений 71
1.3.3. Фоторождение векторных мезонов на ядре	40	3.2. Определение систематических погрешностей 76
1.4. Основные выводы	44	3.3. Сечения когерентного рождения J/ψ и $\psi(2S)$ -мезонов 79
Глава 2. Методика исследования ультрапериферических столкновений в эксперименте ALICE	47	3.4. Сечения эксклюзивного рождения пар мюонов 83
2.1. Описание экспериментальной установки	47	3.5. Основные выводы 85
2.1.1. Детекторы центрального барреля	47	Глава 4. Перспективы поиска новой физики в фотон-фотонных взаимодействиях в эксперименте ALICE
2.1.2. Мюонный спектрометр	49	89
2.1.3. Передние детекторы	50	4.1. Измерение сечений рассеяния света на свете 91
2.2. Отбор ультрапериферических событий	52	4.2. Поиск рождения аксионоподобных частиц 97
2.3. Определение эффективности вето	53	4.3. Измерение аномального магнитного момента τ -лептона 100
2.4. Определение интегральной светимости	55	4.4. Основные выводы 104
2.5. Определение систематической погрешности эффективности реконструкции треков в MCH	60	Заключение 106
		Доклады на конференциях и семинарах 110
		Основные публикации по теме диссертации 112
		Список цитированной литературы 113

Ультрапериферические столкновения (УПС): $b > R_1 + R_2$

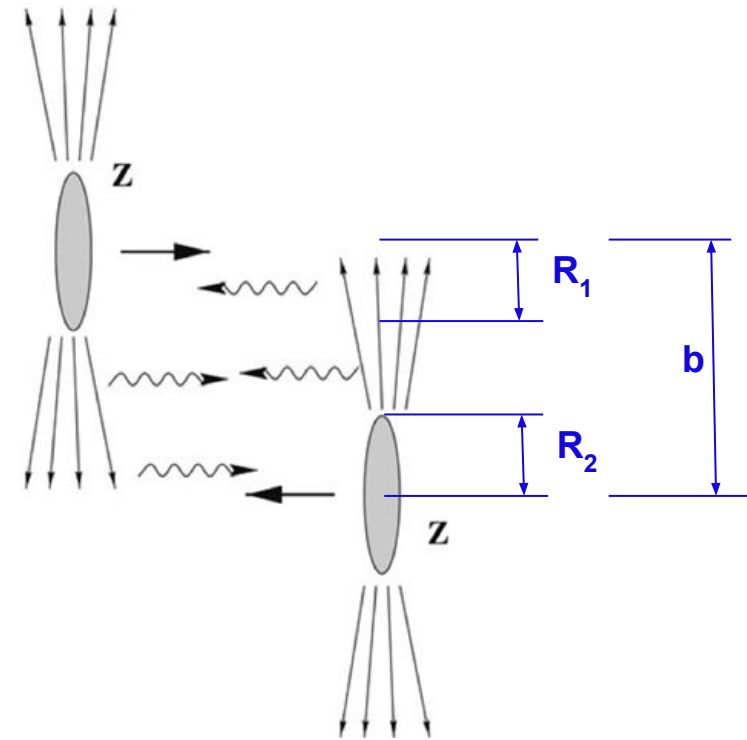
→ адронные взаимодействия подавлены

Поток фотонов:

→ можно описать в приближении эквивалентных фотонов

→ $Q < 1/R \sim 30$ МэВ

→ пропорционален Z^2



Обзоры по физике УПС:

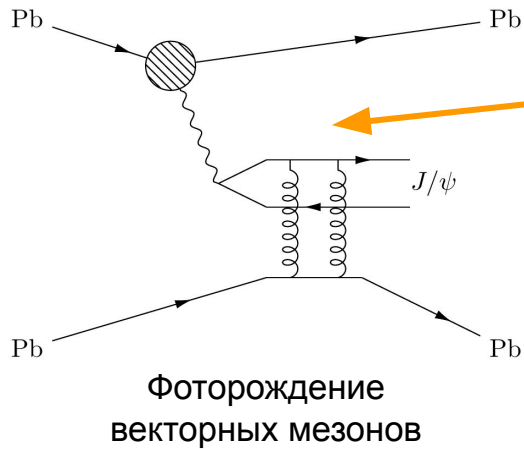
A.J. Baltz et al, Phys. Rept. 458 (2008) 1

J.G. Contreras, J.D. Tapia Takaki. Int.J.Mod.Phys. A 30 (2015) 1542012

S.Klein and P. Steinberg, Ann. Rev. Nuclear Part. Sci. 70 (2020) 323

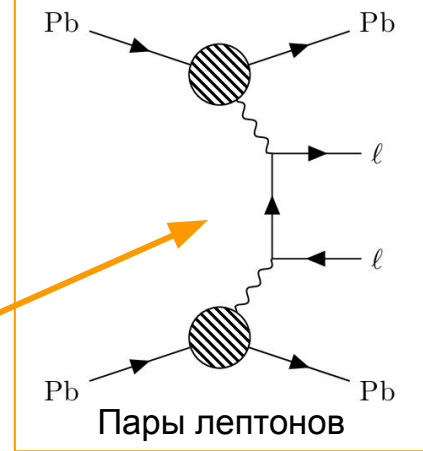
Ультрапериферические столкновения на ЛНС можно использовать для исследования $\gamma\gamma$, γp и γPb взаимодействий при высоких энергиях

Ультрапериферические столкновения

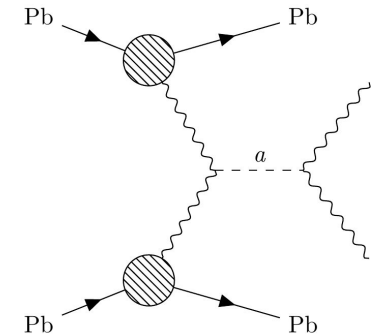
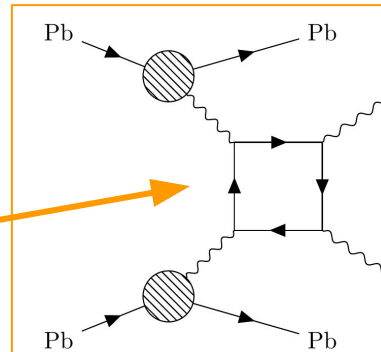


Исследование партонной плотности в ядрах при малых бьёркеновских x

Проверка описания сильных ЭМ полей в приближении эквивалентных фотонов



Поиск новой физики: суперсимметрия, слабо взаимодействующие частицы, новые резонансы...

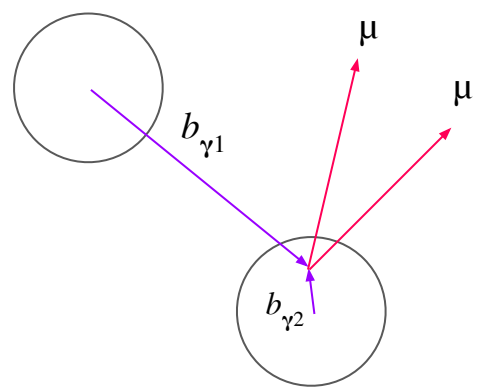


1. Моделирование фотон-фотонных и фотоядерных взаимодействий в ультрапериферических столкновениях

Сечение двухфотонных взаимодействий

Сечение

$$\frac{d^2\sigma(AA \rightarrow AA + X)}{dY dM} = \frac{d^2N_{\gamma\gamma}}{dY dM} \sigma(\gamma\gamma \rightarrow X)$$



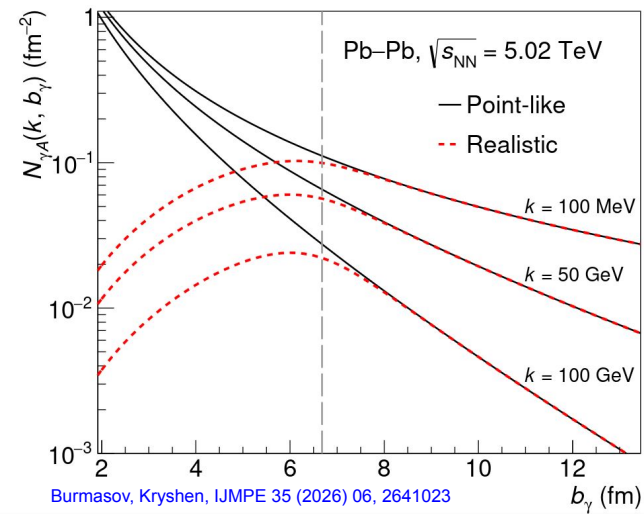
Точечный источник

$$N_{\gamma A}(k, b_{\gamma}) = \frac{Z^2 \alpha k^2}{\gamma^2 \pi^2} \left[K_1^2(x) + \frac{1}{\gamma^2} K_0^2(x) \right]$$

$$x = kb_{\gamma}/\gamma$$

Двухфотонная светимость

$$\frac{d^2N_{\gamma\gamma}}{dk_1 dk_2} = \iint d^2b_{\gamma 1} d^2b_{\gamma 2} \Gamma_{AA}(b) N_{\gamma A}(k_1, b_{\gamma 1}) N_{\gamma A}(k_2, b_{\gamma 2})$$



Burmasov, Kryshen, IJMPPE 35 (2026) 06, 2641023

Реалистичный форм-фактор

$$N_{\gamma A}(k, b_{\gamma}) = \frac{Z^2 \alpha}{\gamma \pi^2} \left| \int \frac{dk_{\perp} k_{\perp}^2}{k_{\perp}^2 + k^2/\gamma^2} F_{\text{ch}}(k_{\perp}^2 + k^2/\gamma^2) J_1(b_{\gamma} k_{\perp}) \right|^2$$

Поляризация фотонов в начальном состоянии

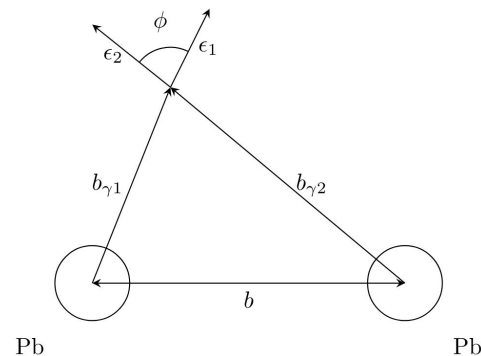
Сечение УПС

Параллельная
компонента

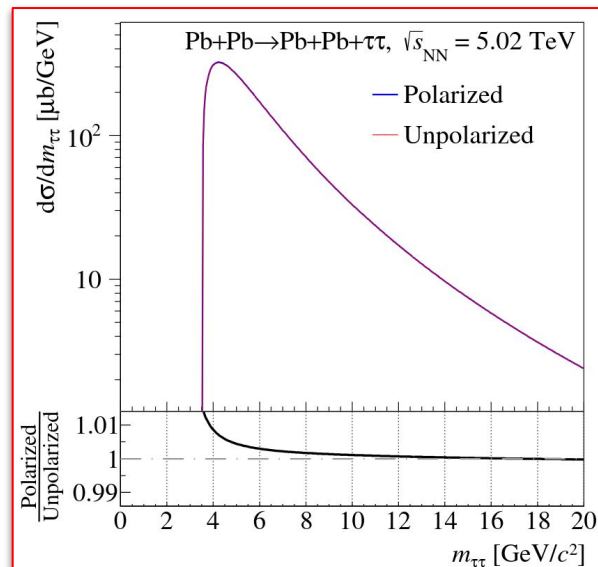
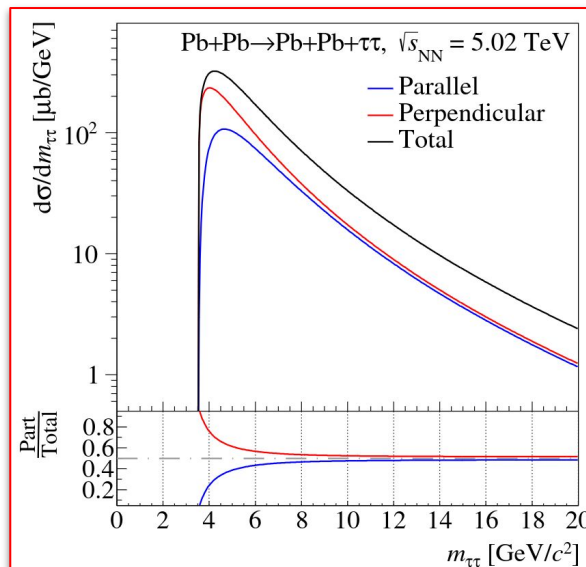
Перпендикулярная
компонента

$$\frac{d^2\sigma(AA \rightarrow AA + \ell\ell)}{dY dM} = \frac{d^2N_{\gamma\gamma}^{\parallel}}{dY dM} \sigma^{\parallel}(\gamma\gamma \rightarrow \ell\ell) + \frac{d^2N_{\gamma\gamma}^{\perp}}{dY dM} \sigma^{\perp}(\gamma\gamma \rightarrow \ell\ell)$$

$$\frac{d^2N_{\gamma\gamma}^{[\parallel, \perp]}}{dk_1 dk_2} = \int \int d^2b_{\gamma_1} d^2b_{\gamma_2} \Gamma_{AA}(b) N_{\gamma A}(k_1, b_{\gamma_1}) N_{\gamma A}(k_2, b_{\gamma_2}) \left[\frac{|\vec{b}_{\gamma_1} \cdot \vec{b}_{\gamma_2}|^2}{b_{\gamma_1}^2 b_{\gamma_2}^2}, \frac{|\vec{b}_{\gamma_1} \times \vec{b}_{\gamma_2}|^2}{b_{\gamma_1}^2 b_{\gamma_2}^2} \right]$$



- В сечении $\gamma\gamma \rightarrow \ell\ell$ доминирует перпендикулярная компонента
- Учет поляризационных эффектов приводит к небольшому росту УПС сечения при малых массах в $\gamma\gamma \rightarrow \ell\ell$



Эксклюзивное рождение дилептонов

Элементарное сечение

$$\frac{d\sigma(\gamma\gamma\rightarrow\ell\ell)}{dz} = \frac{2\pi}{64\pi^2s} \frac{|\vec{p}_\ell|}{|\vec{p}_\gamma|} \frac{1}{4} \sum_{\text{spin}} |\mathcal{M}|^2$$

$$z = \cos\theta$$

Амплитуда

$$\mathcal{M} = (-i) \epsilon_{1\mu} \epsilon_{2\nu} \bar{u}(p_3) \left(i\Gamma^{(\gamma\ell\ell)\mu}(p_1) \frac{i(\not{p}_t+m_\ell)}{p_t^2-m_\ell^2+i\epsilon} i\Gamma^{(\gamma\ell\ell)\nu}(p_2) + i\Gamma^{(\gamma\ell\ell)\nu}(p_2) \frac{i(\not{p}_u+m_\ell)}{p_u^2-m_\ell^2+i\epsilon} i\Gamma^{(\gamma\ell\ell)\mu}(p_1) \right) v(p_4)$$

Вершинная функция

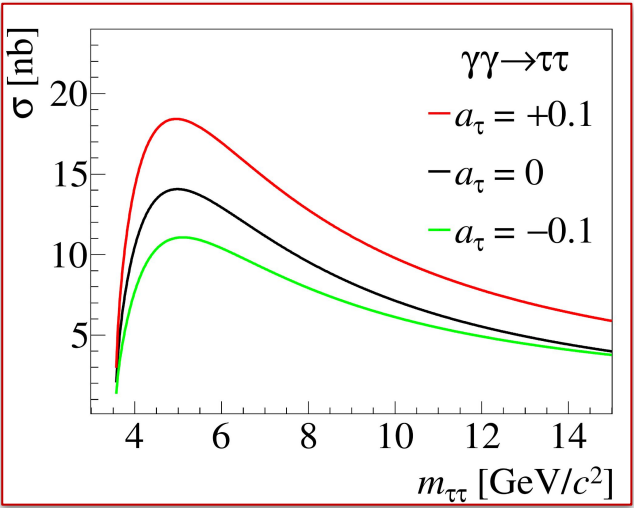
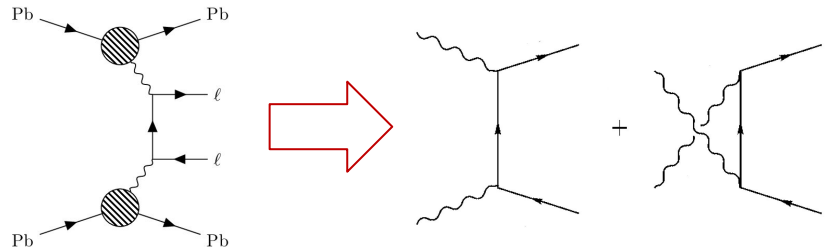
$$i\Gamma_\mu^{(\gamma\ell\ell)}(q) = -ie \left[\gamma_\mu F_1(q^2) + \frac{i}{2m_\ell} \sigma_{\mu\nu} q^\nu F_2(q^2) \right]$$

При малых q , что применимо к УПС:

$$q^2 \rightarrow 0 \quad F_1(0) = 1 \quad F_2(0) = a_\ell$$

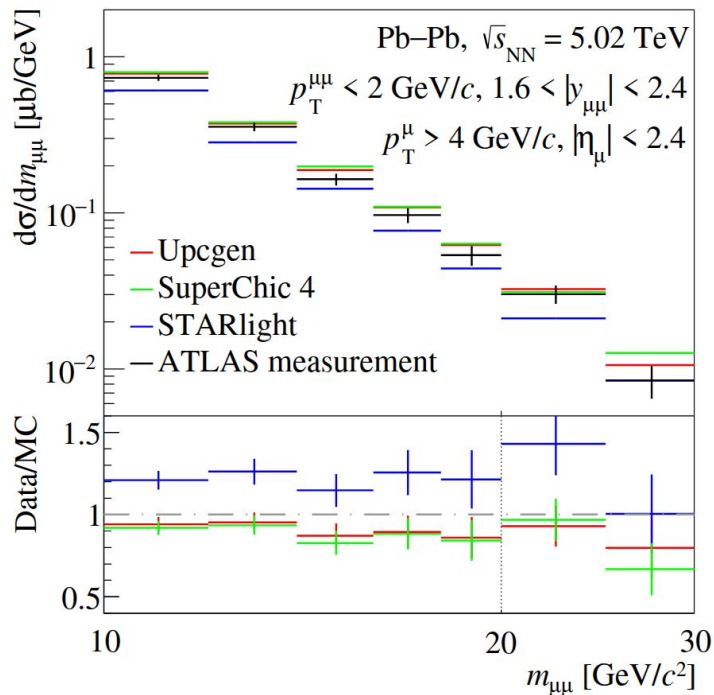
Сводится к формуле Брейта-Уилера при $a_\ell = 0$

$$\frac{d\sigma}{dz} = \frac{\pi\alpha^2}{s} \beta \left(2 + 4\beta^2 \frac{\beta^2(1-z^2)z^2 + 1 - \beta^2}{(1-\beta^2z^2)^2} \right) \quad \beta^2 = 1 - \frac{4m_\ell^2}{s}$$

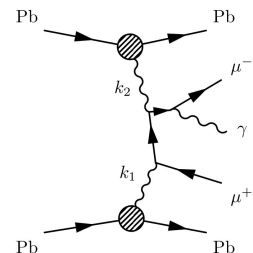
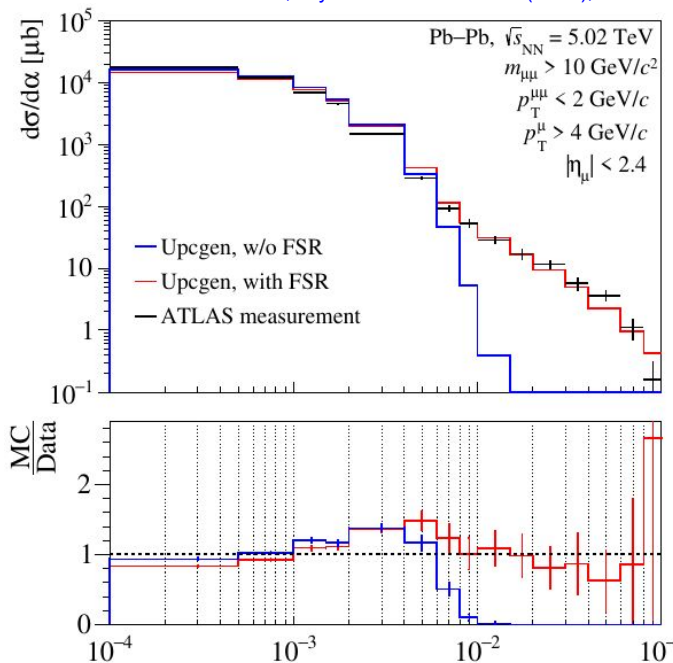


Эксклюзивное рождение пар мюонов в ATLAS

Burmasov, Kryshen et al. CPC 277 (2022), 108388



Burmasov, Kryshen et al. CPC 277 (2022), 108388



$$\alpha = 1 - |\Delta\phi|/\pi$$

- **STARlight**: точечный источник, отрезание потоков $b_Y = R_A$
- **SuperChic**, **Upcgen**: реалистичный форм-фактор
- Улучшение описания экспериментальных данных

- Излучение в конечном состоянии (FSR) реализовано интеграцией с Pythia8, что улучшает описание кинематических распределений

Когерентное фоторождение векторных мезонов

Сечение

$$\frac{d\sigma_{AA\rightarrow AAV}(y)}{dy} = n_{\gamma}(y)\sigma_{\gamma A\rightarrow AV}(y) + n_{\gamma}(-y)\sigma_{\gamma A\rightarrow AV}(-y)$$

Поток фотонов

Фоторождение на ядре

$$\sigma_{\gamma A\rightarrow VA}(W_{\gamma p}) = R_g^2(x, \mu^2)\sigma_{\gamma A\rightarrow VA}^{IA}(W_{\gamma p})$$

Глюонная экранировка

$$R(x, \mu^2) = \frac{f_A(x, \mu^2)}{Af_N(x, \mu^2)}$$

Guzey, Zhaltov, JHEP 10 (2013) 207 Frankfurt, Guzey, Strikman, Zhaltov, JHEP 08 (2003) 043

$$W_{\gamma p} = \sqrt{2E_N m_V} e^{-y/2} \quad x = m_V^2/W_{\gamma p}^2 \quad \mu^2 = \frac{m_V^2}{4}$$

Импульсное приближение - нет ядерных взаимодействий

$$\sigma_{\gamma A\rightarrow VA}^{IA}(W_{\gamma p}) = \left. \frac{d\sigma_{\gamma p\rightarrow Vp}(W_{\gamma p})}{dt} \right|_{t=0} \Phi_A(t_{\min})$$

Интеграл квадрата форм-фактора

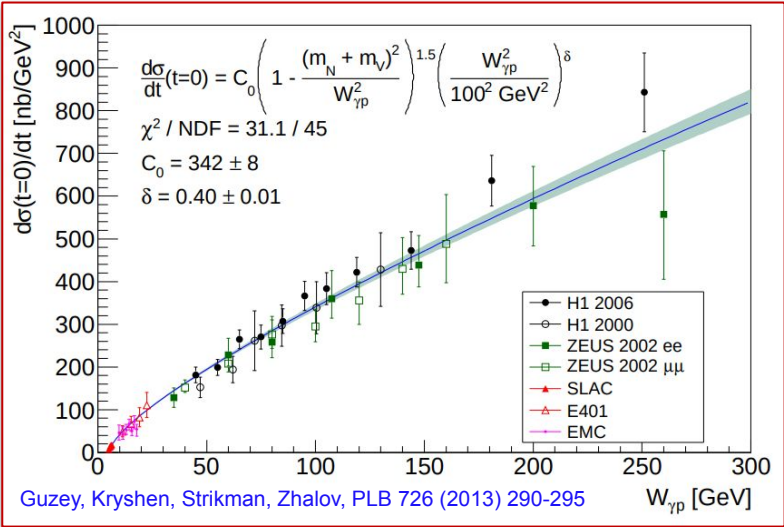
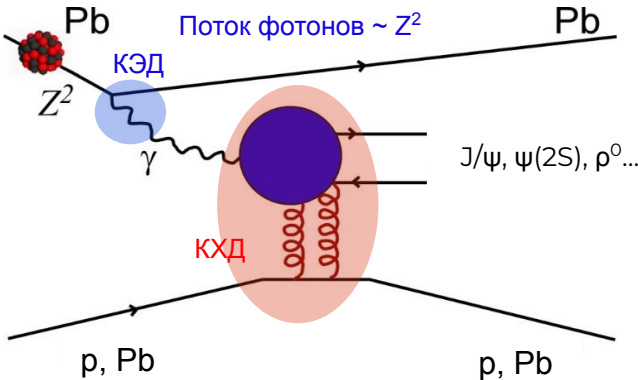
Фоторождение на протоне

$$\left. \frac{d\sigma_{\gamma p\rightarrow Vp}(W_{\gamma p})}{dt} \right|_{t=0} = C_p(\mu^2)\alpha_s^2(\mu^2)[xg_p(x, \mu^2)]^2$$

Параметризация

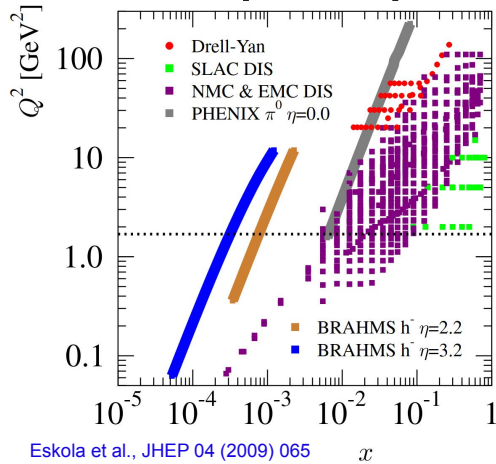
Ryskin, Z.Phys.C 57 (1993) 89-92

Глюонная плотность в протоне

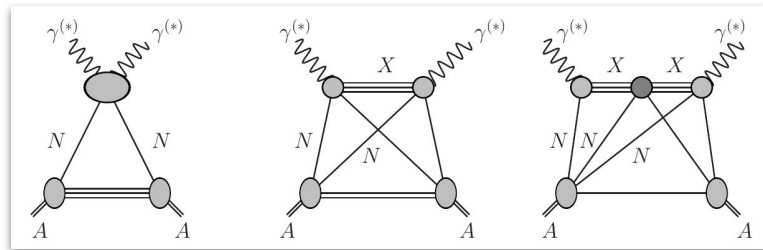


Guzey, Kryshen, Strikman, Zhaltov, PLB 726 (2013) 290-295

Глюонные экранировки



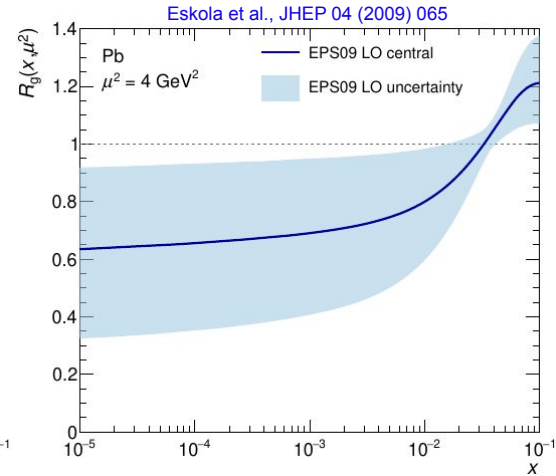
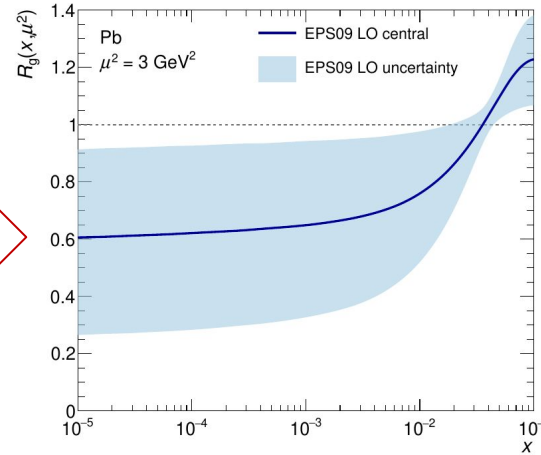
Аппроксимация данных по процессу Дрелла-Яна и глубоко неупругому рассеянию (EPS09)



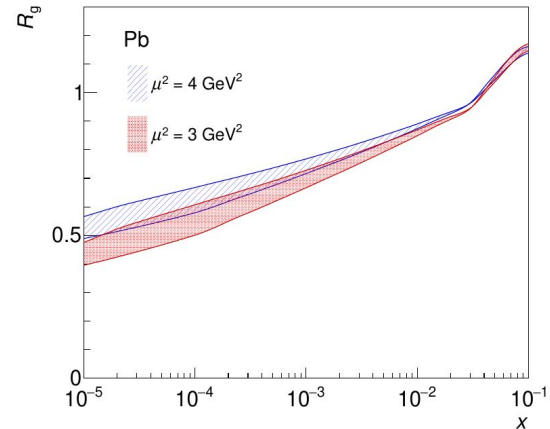
Приближение лидирующих твистов (LTA)

→ Формализм Глаубера-Грибова

→ перерассеяние на нуклонах + учет дифракционных состояний



Frankfurt, Guzey, Stasto, Strikman, Rept. Prog. Phys. 85 (2022) 12, 126301
Frankfurt, Guzey, Strikman, Phys. Rept. 512 (2012) 255-393



Сравнение с экспериментами на БАК

→ Импульсное приближение сильно завышает оценку сечения

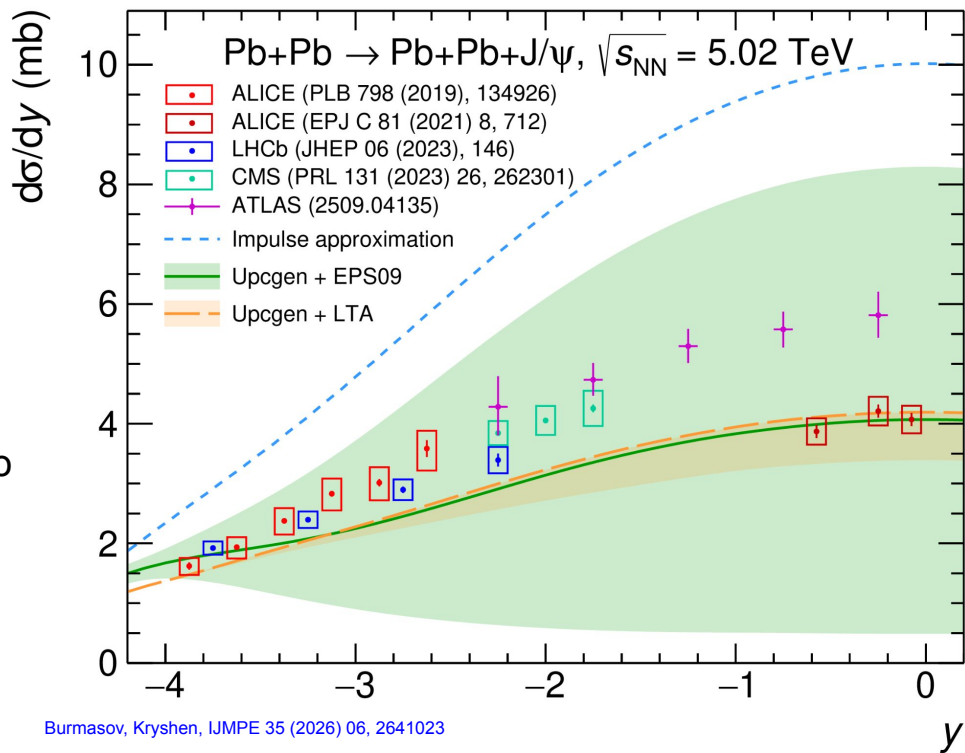
При больших быстротах:

→ EPS09 и приближение лидирующих твистов (LTA) совместимы с измерениями

При промежуточных/центральных быстротах:

→ Результаты ATLAS сильно выше относительно EPS09 (центральная параметризация) и LTA (слабое экранирование)

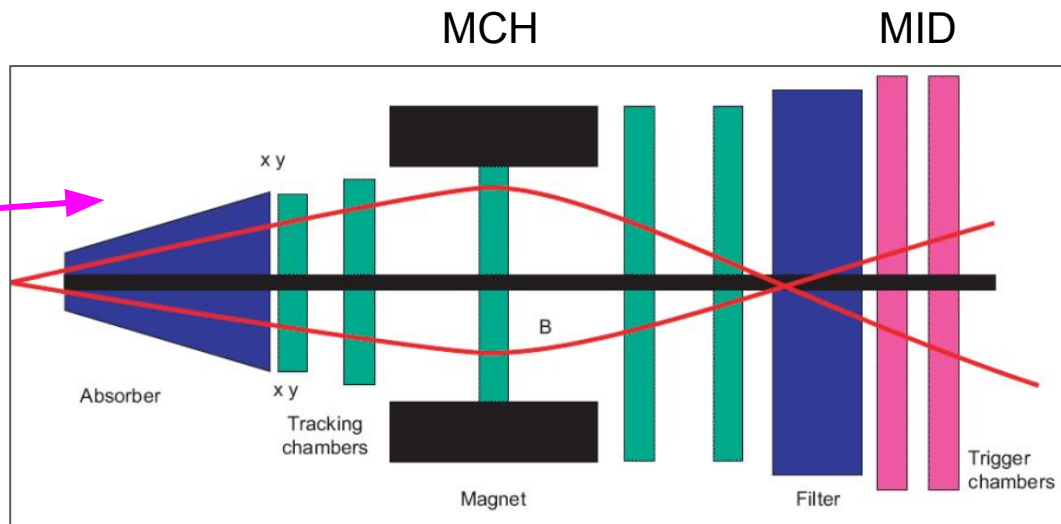
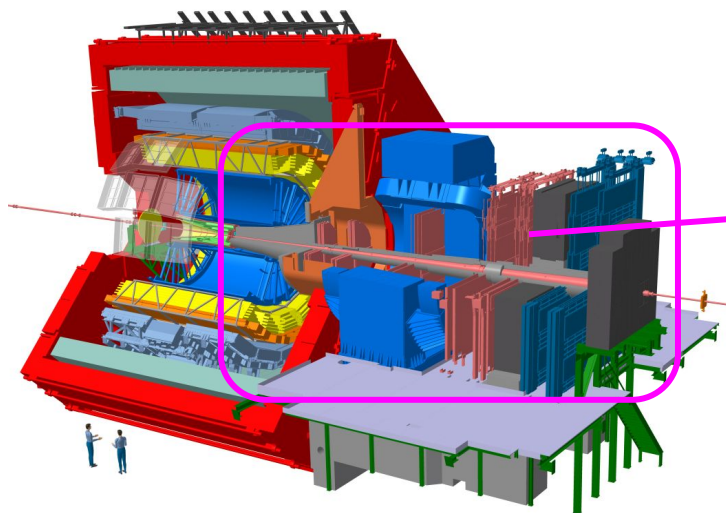
→ Заметное расхождение ATLAS и ALICE



Burmasov, Kryshen, IJMPE 35 (2026) 06, 2641023

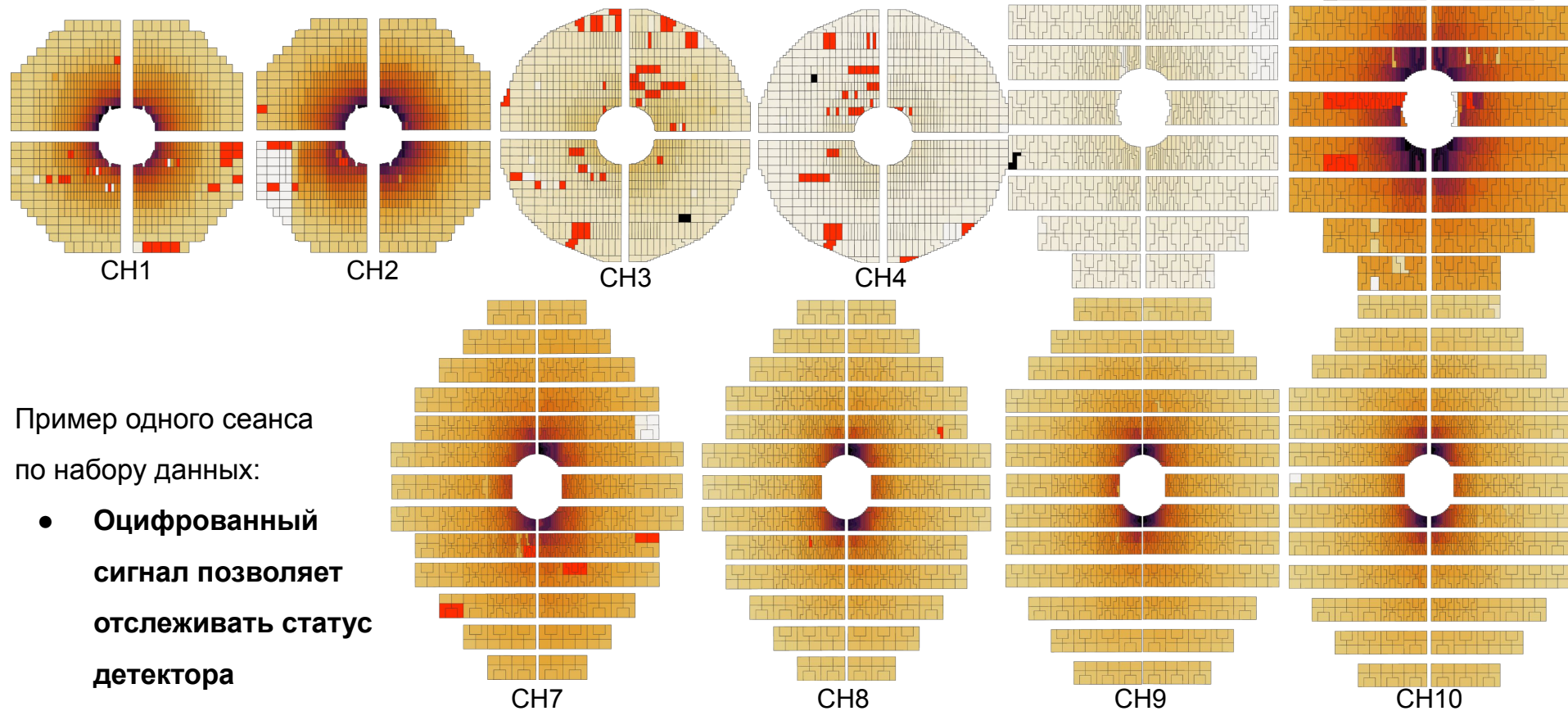
2. Методика исследования ультрапериферических столкновений в эксперименте ALICE

Мюонный спектрометр эксперимента ALICE



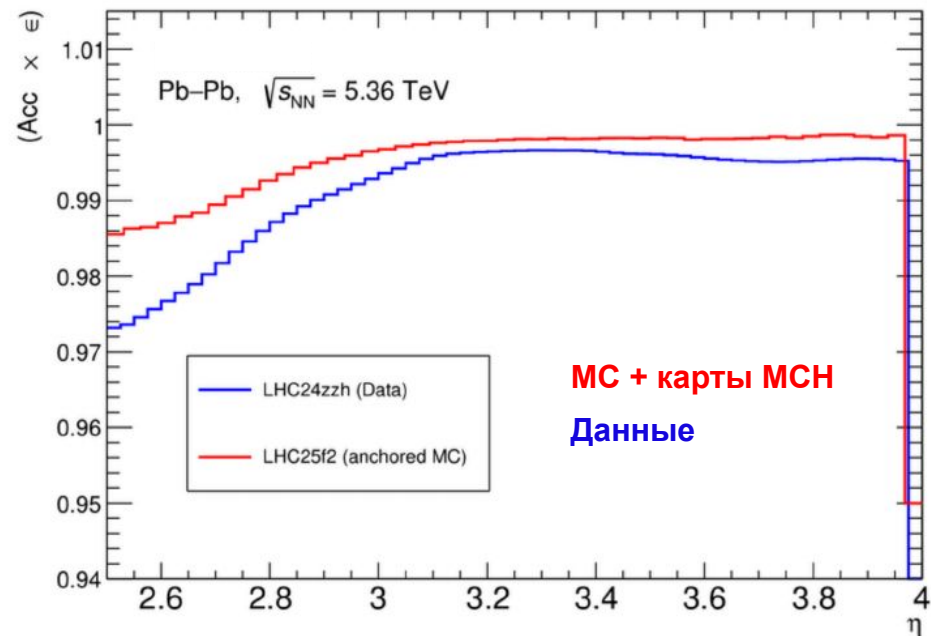
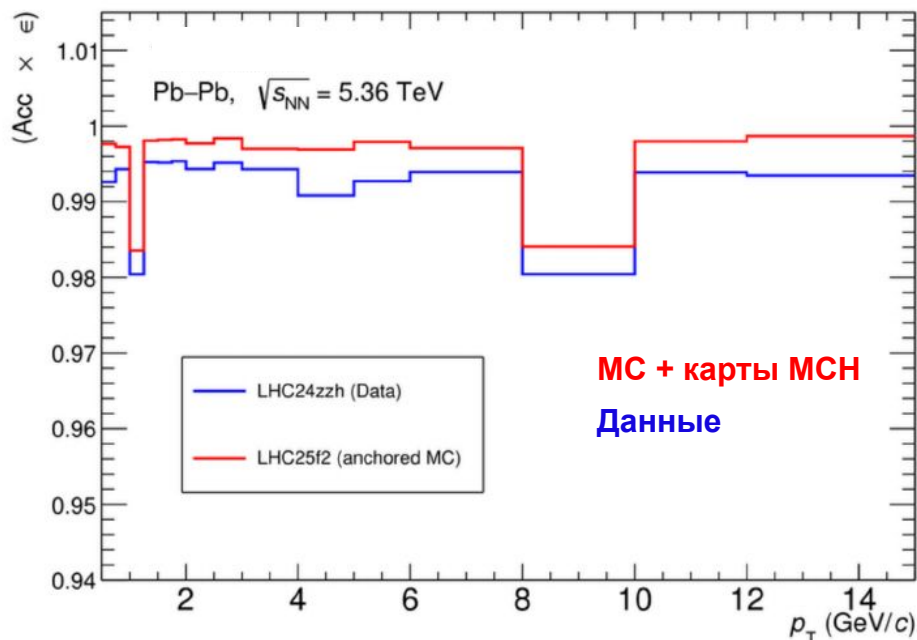
- Покрытие по псевдобыстроте: $-4 < \eta < -2.5$
- Абсорбер и фильтр — фильтрация частиц
- Muon CHambers — трековый детектор → реконструкция импульса мюонов
- Muon IDentifer — мюонный триггер → определение времени треков

Статус камер MCH



*Каждому многограннику соответствует площадка катодной камеры — и САМПА-чип (32 или 64 канала)

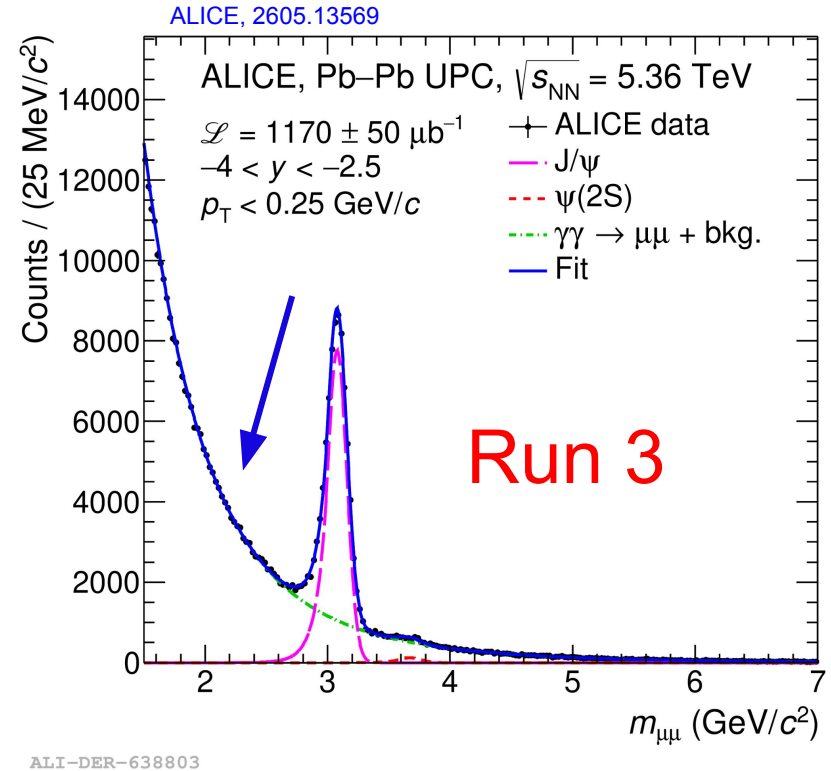
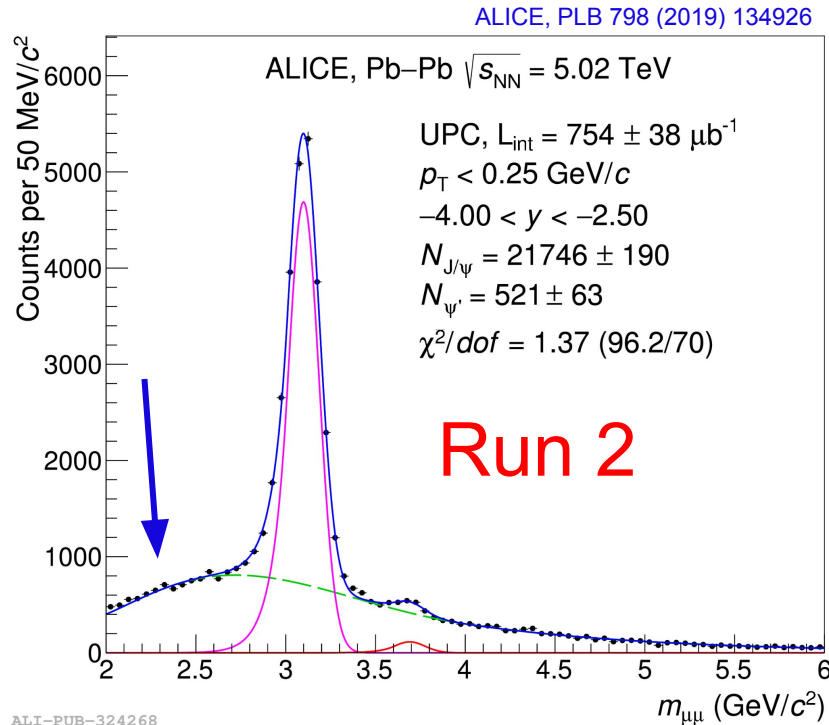
Определение эффективности МСН



- Хорошее согласие на уровне $\sim 1\%$ для эффективностей в зависимости от p_T и η
- С применением карт эффективности были подготовлены Монте-Карло данные для анализа:
 - когерентные и некогерентные J/ψ и $\psi(2S)$
 - вторичные J/ψ из распадов когерентных и некогерентных $\psi(2S)$
 - рождение эксклюзивных димюонов $\gamma\gamma \rightarrow \mu^+\mu^-$

3. Измерения сечений когерентного фоторождения J/ψ - и $\psi(2S)$ -мезонов и эксклюзивного рождения пар мюонов в ультрапериферических Pb–Pb столкновениях при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 5.36$ ТэВ

Новые условия набора данных

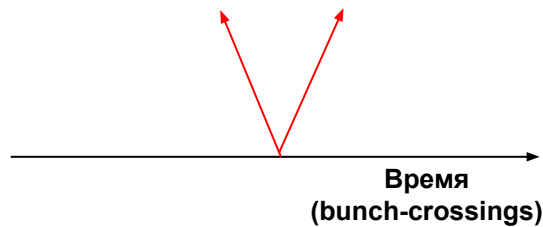


- Бестриггерный набор данных дает возможность продвинуться в область малых масс
- Нет эффектов, связанных с резким изменением эффективности в области J/ψ

Отбор событий в передней области ALICE в Run 3

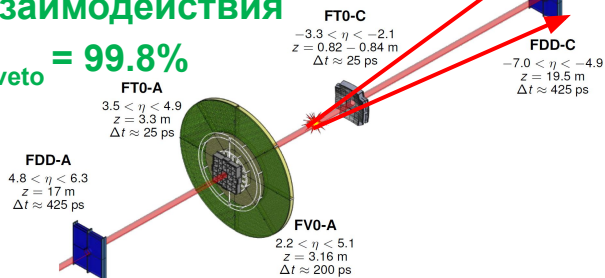
- 99 сеансов с интегральной светимостью 1170 мкб^{-1}
- События конструируются из пар **MCH-MID** треков с точной привязкой по времени
- MID обладает высоким временным разрешением

Пары MCH-MID треков



FV0 вето на адронные взаимодействия

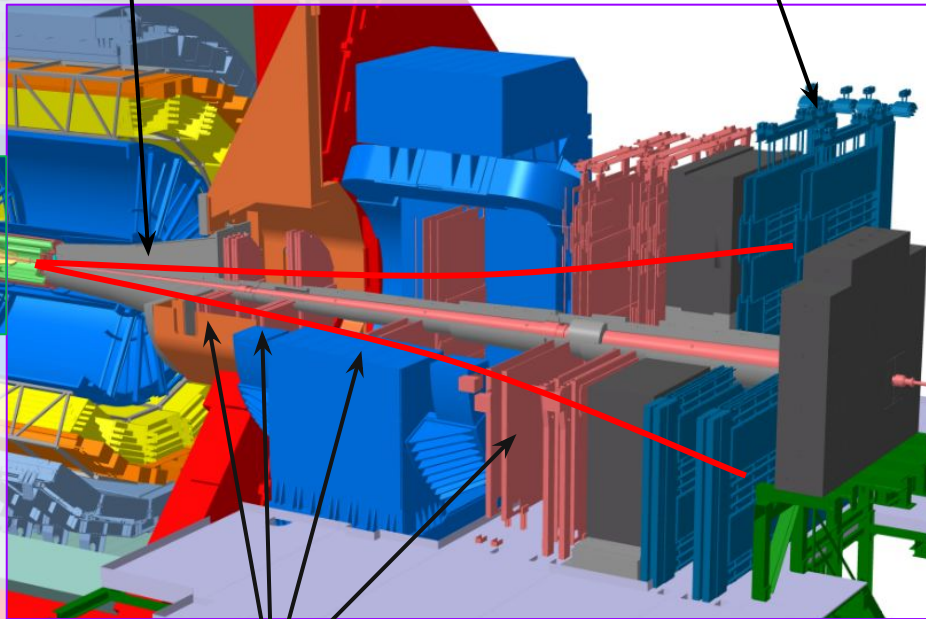
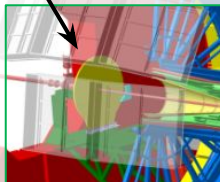
$\epsilon_{\text{veto}} = 99.8\%$



Абсорбер

Muon IDentifier

FV0

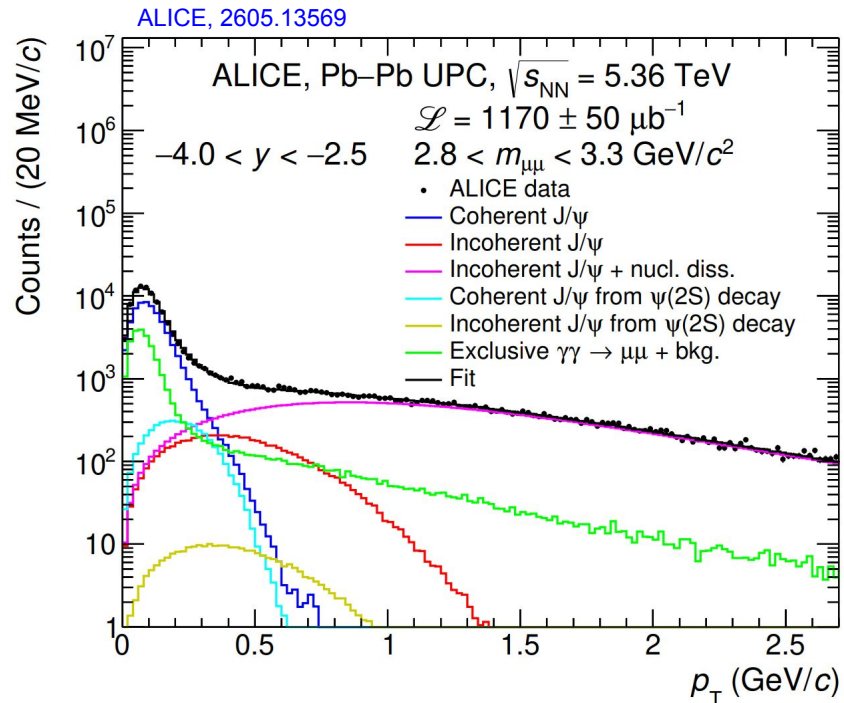
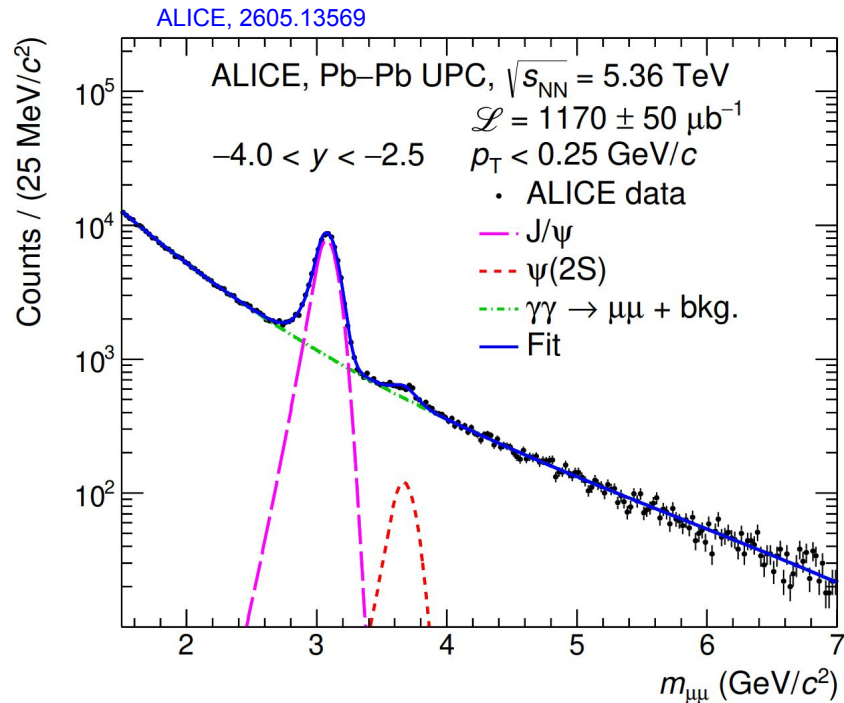


Muon tracking CHambers

Мюонный спектрометр: $-4 < \eta < -2.5$

1 BC = 1 bunch-crossing = $\sim 25 \text{ нс}$

Извлечение сигнала чармония



- Выделение инклюзивных выходов чармония (Crystal Ball + exp.)
- Отношение выходов вторичных и первичных J/ψ = $(4.9^{+0.5}_{-0.6})\%$

- Аппроксимация спектра приготовленными распределениями (MC+”data-driven”)
- Выделение доли когерентных J/ψ:
3.7–5.9% при $p_T < 0.25$ ГэВ/c

Извлечение сигнала эксклюзивных димюонов

В области масс без чармония:

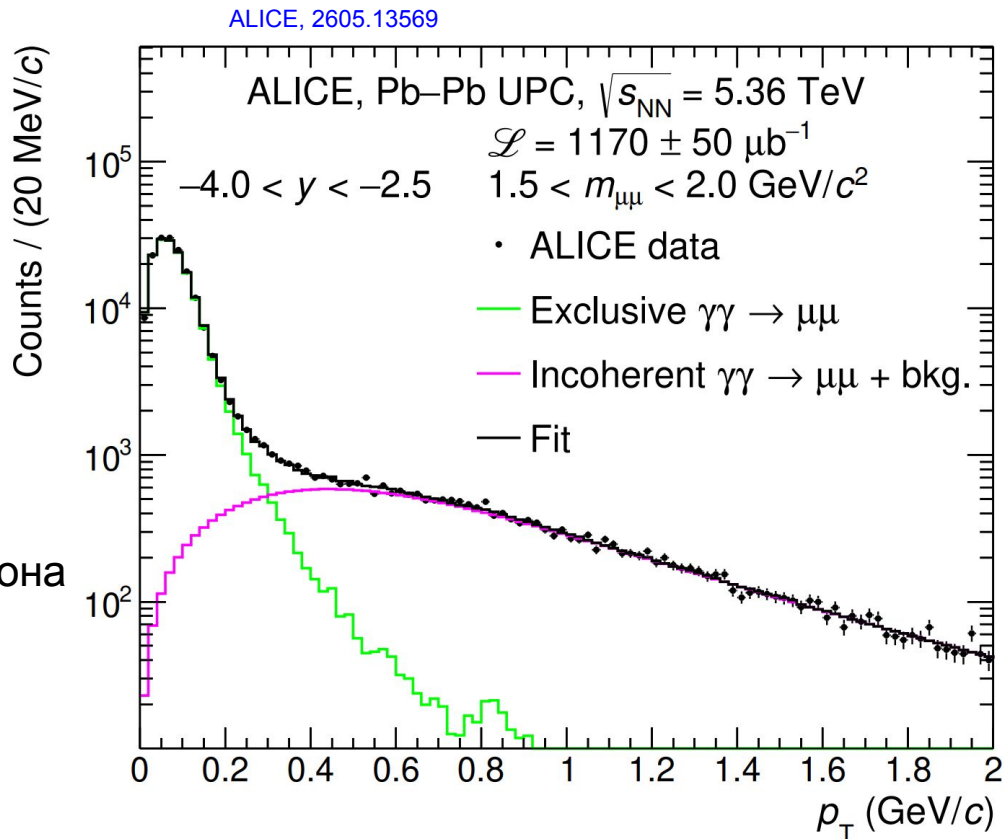
- Эксклюзивные $\gamma\gamma \rightarrow \mu\mu$: МС
- Некогерентные $\gamma\gamma \rightarrow \mu\mu$ + фон:

Параметризация H1*

$$\frac{dN}{dp_T} \propto p_T \left(1 + \frac{b_{pd}}{n_{pd}} p_T^2 \right)^{-n_{pd}}$$

Область с чармонием:

- $2.5 < m_{\mu\mu} < 4.5$ ГэВ/с²
- Извлечение доли не-эксклюзивного фона по среднему между соседними интервалами по массе
- Доля не-эксклюзивного фона: **1.9–6.4% при $p_T < 0.25$ ГэВ/с**



Систематические погрешности

$$\frac{d\sigma_{VM}^{coh}}{dy} = \frac{N_{VM}^{excl}}{\epsilon_{rec}\epsilon_{veto}BR(VM \rightarrow \mu\mu)\mathcal{L}\Delta y}$$

$$\frac{d\sigma_{\gamma\gamma\rightarrow\mu\mu}^{excl}}{dm_{\mu\mu}} = \frac{N_{\gamma\gamma\rightarrow\mu\mu}}{(1 + f_I^{\gamma\gamma})\epsilon_{rec}\epsilon_{veto}\mathcal{L}\Delta m}$$

Оценка сечения неупругого взаимодействия с моделью Глаубера и данными Run 2

Вариация вето FV0

Сравнение эффективности MCH в данных и Монте-Карло

Вариация условий привязки MCH и MCH-MID треков

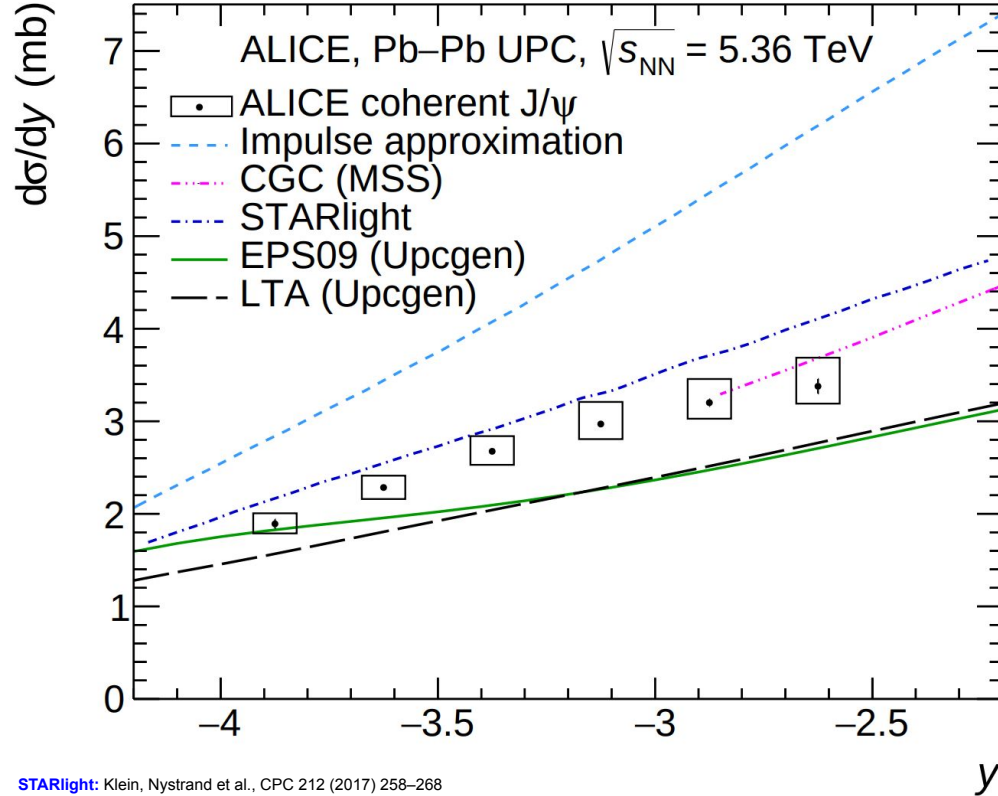
Вариация параметров аппроксимации спектров по инвариантной массе и поперечному импульсу

Source	$\sigma(J/\psi)$	$\sigma(\psi(2S))$	$\sigma(\psi(2S))/\sigma(J/\psi)$	$\sigma(\gamma\gamma \rightarrow \mu\mu)$
Luminosity	± 4.3	± 4.3	–	± 4.3
Veto	± 1.0	± 1.0	–	± 1.0
Tracking	± 3.0	± 3.0	–	± 3.0
Matching	+7.3	+6.1	–	+21.8
Signal extraction	–1.1, +1.5	–10.2, +5.6	–10.2, +5.8	–2.3, +1.4
Incoherent/background fraction	–1.5, +0.1	–0.8, +0.1	–1.7, +0.2	–0.6, +1.0
Feed-down fraction	–0.5, +0.6	–	–0.5, +0.6	–
Branching ratio	± 0.6	± 7.5	± 7.5	–
Total	–5.3, +9.0	–13.6, +12.3	–12.8, +9.5	–5.5, +22.4

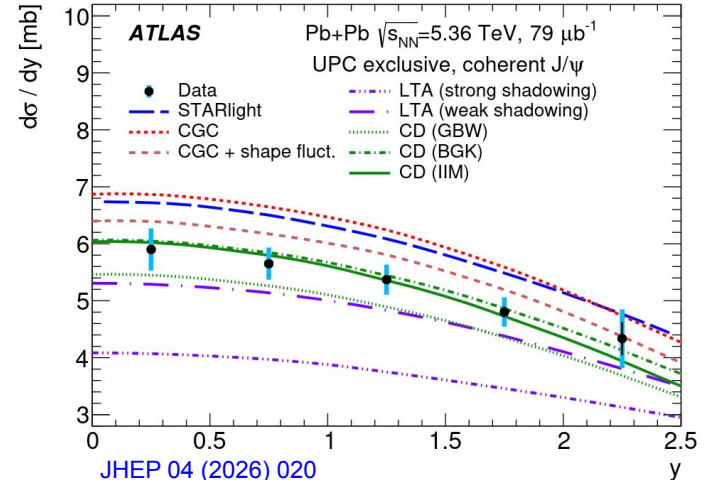
- Показаны крайние отклонения значений от центральных при вариации параметров

Сечение когерентного рождения J/ψ

ALICE, 2605.13569



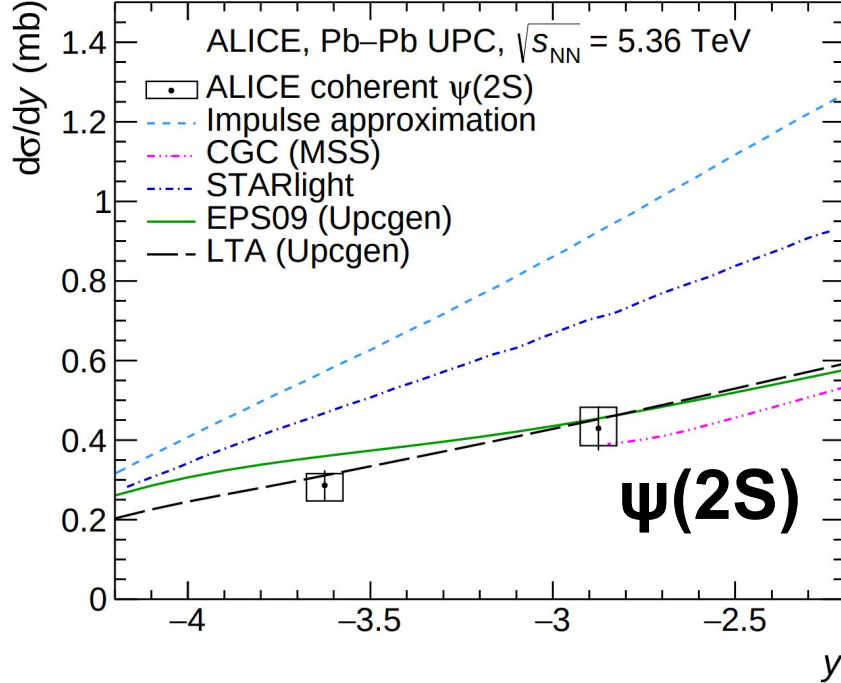
- Импульсное Приближение:** $\sqrt{(\text{Данные}/\text{ИП})} \sim 0.76$
- Оценки **STARlight** завышены — Глауберовских перерассеяний недостаточно для описания подавления
- EPS09** (central set) и **LTA** (weak shadowing) из Urcgen: модели с экранированием занижают сечение
- CGC (Color Glass Condensate)** с флуктуацией глюонных распределений в нуклонах: не противоречит в пределах применимости $|y| < 2.85$



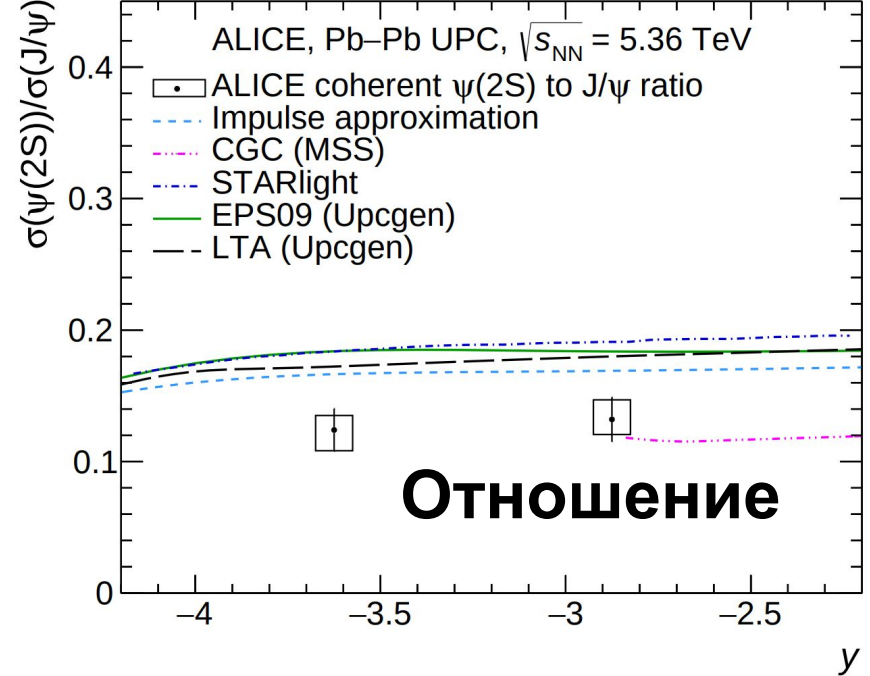
JHEP 04 (2026) 020

Сечение когерентного рождения $\psi(2S)$

ALICE, 2605.13569



ALICE, 2605.13569



- Сечения $\psi(2S)$ согласуются с **EPS09** (central set) и **LTA** (weak shadowing)
- Отношение $\psi(2S)$ к J/ψ : $R = 0.131 \pm 0.012$ (stat.) ± 0.013 (syst.) $\rightarrow$ ниже 0.166 измеренного на HERA в $\gamma\gamma$ на **1.4-1.9 σ**
- Согласуется в пределах применимости с **CGC** (аппроксимация данных по ширине распада $\psi(2S)$ и J/ψ)

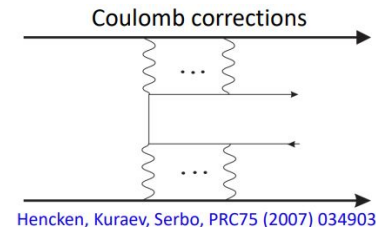
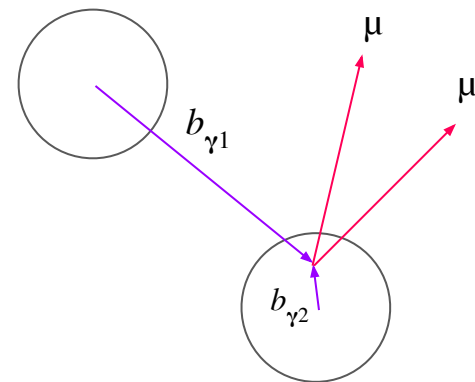
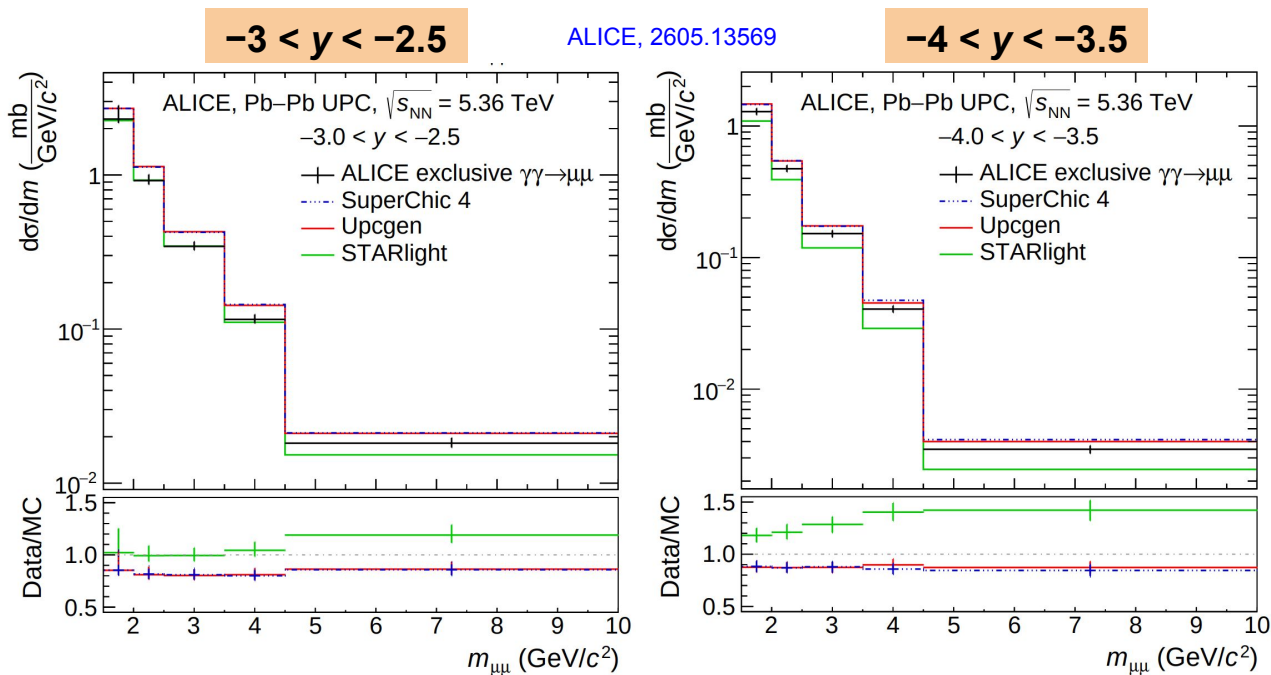
STARlight: Klein, Nystrand et al., CPC 212 (2017) 258–268

Upcgen: CPC, 277 (2022) 108388 based on

Guzey, Kryshen, Zhalov, PRC 93 (2016) 055206

CGC: Mantysaari, Salazar, Schenke, PRD 109 (2024) L071504

Сечения эксклюзивного рождения димюонов



- **STARlight** описывает данные при $(-3.0 < y < -2.5)$, но занижает сечение вплоть до **~40%** при больших y
- Отклонение проявляется сильнее при больших массах
- **Upcgen** and **SuperChic 4** стабильно завышают сечения на 10-20%

* Модели с реалистичным описанием потоков ближе к измеренным сечениям

* Возможное влияние поправок более высокого порядка?

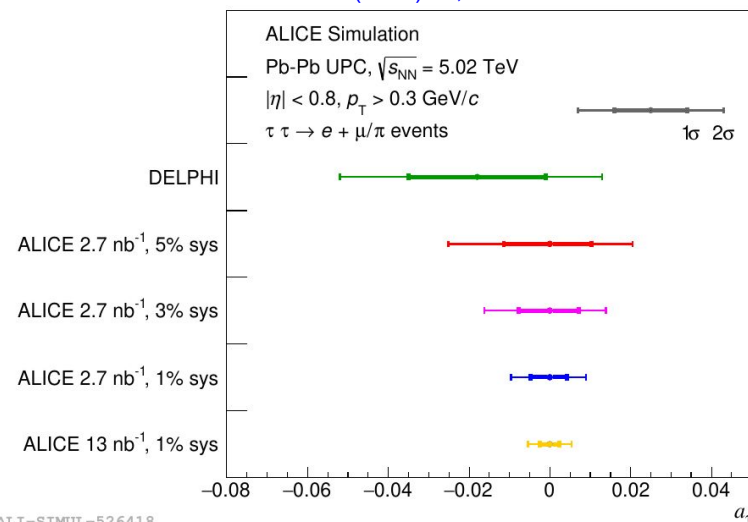
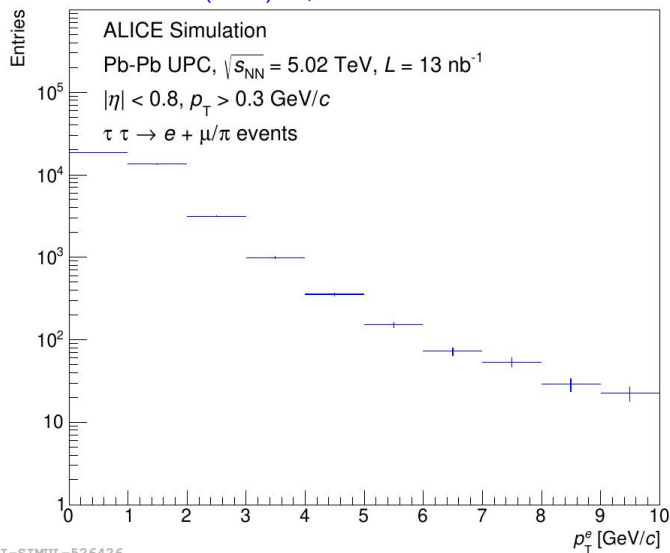
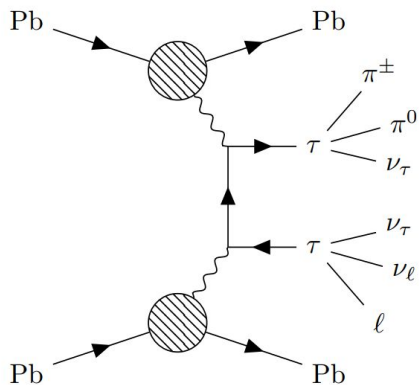
STARlight: CPC, 212 (2017) 258-268
 Upcgen: CPC, 277 (2022) 108388
 SuperChic: EPJC, 80 (2020) 925

4. Перспективы поиска новой физики в фотон-фотонных взаимодействиях в эксперименте ALICE

Аномальный магнитный момент τ -лептона с ALICE

IJMPA 39 (2024) 35, 2443023

IJMPA 39 (2024) 35, 2443023



$$\left. \begin{aligned} \tau^\pm &\rightarrow \ell + \nu_\ell + \nu_\tau, \\ \tau^\pm &\rightarrow \pi^\pm + n\pi^0 + \nu_\tau \end{aligned} \right\} 80\%$$

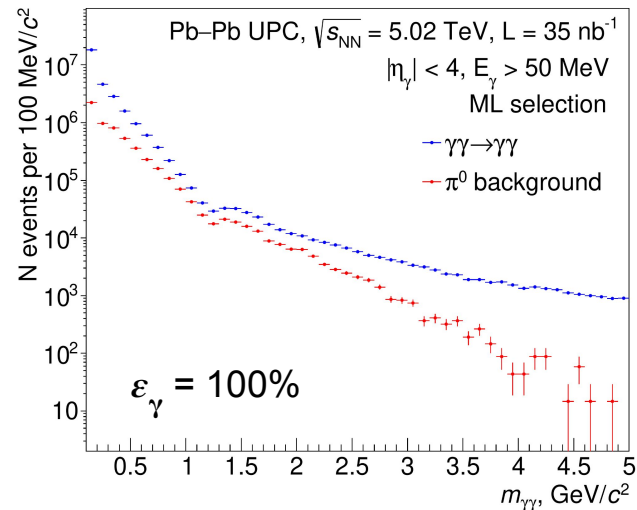
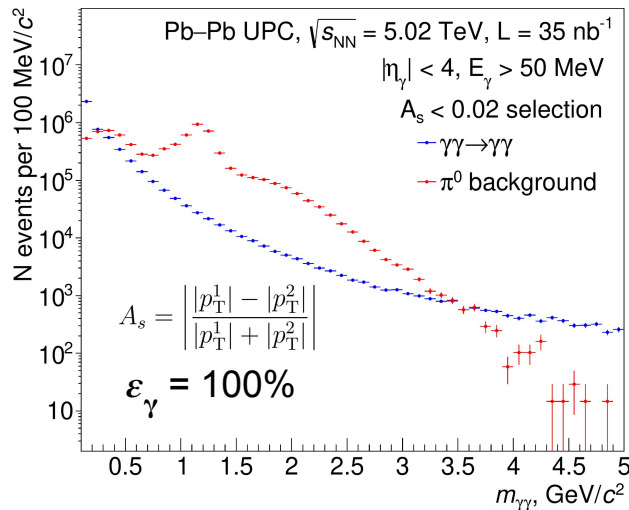
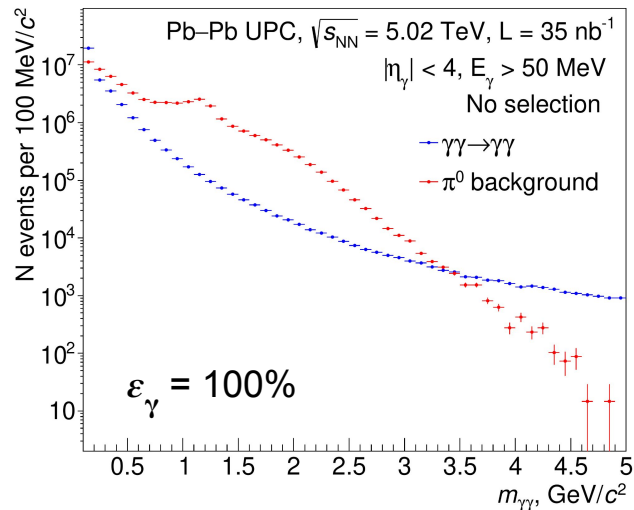
$$\tau^\pm \rightarrow \ell + \nu_\tau + \pi^\pm + \pi^\mp + \pi^\pm + n\pi^0$$

$$\chi^2(a_\tau) = \sum_{p_T \text{ bins}} \frac{[S_{\text{BSM}} - S_{\text{SM}}]^2}{S_{\text{SM}} + \zeta^2 S_{\text{SM}}^2}$$

- Урсген+Pythia 8 для моделирования распадов
- Расчет сечений $\gamma\gamma \rightarrow \ell\ell$ с произвольным значением a_ℓ
- Реалистичное моделирование установки ALICE
- **Отбор 1 е + 1 пи/мю:** $|\eta| < 0.8$, $p_T^e > 300 \text{ MeV}/c$
- Возможные систематические ошибки ζ : 1%, 3%, 5%
- Точность измерений ограничена систематикой

Рассеяние света на свете

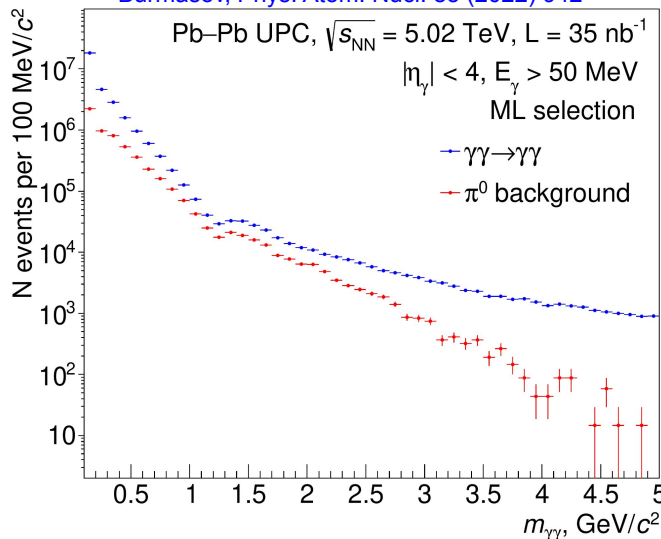
Burmasov, Phys. Atom. Nucl. 85 (2022) 942



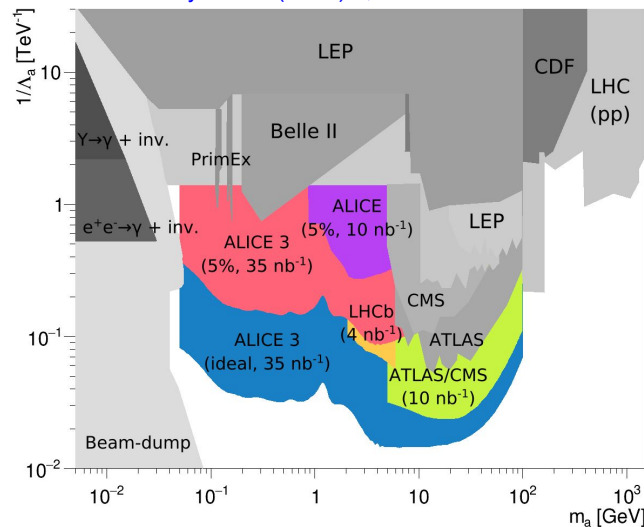
- Измерения в области $m_{\gamma\gamma} < 3$ ГэВ/c 2 затруднительны из-за фона $\pi^0\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma\gamma\gamma$
- Отбор по асимметрии фотонов позволяет подавить фон
- Усиленное дерево решений дает наилучший результат с классификацией сигнал/фон по кинематике

Рассеяние света на свете и поиск аксионоподобных частиц

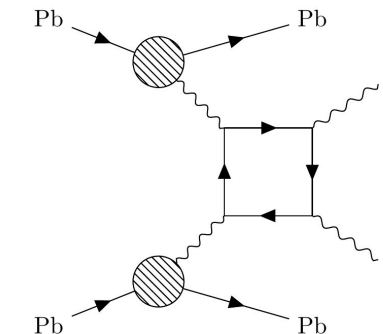
Burmasov, Phys. Atom. Nucl. 85 (2022) 942



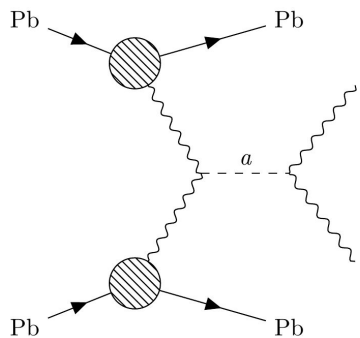
J.Phys.G 50 (2023) 5, 050501



Пределы из ATLAS, JHEP 03, 243 (2021)
 Проекция для ATLAS/CMS из PRL 118 (2017), 171801
 Проекция для LHCb из EPJC 81 (2021), 522



Рассеяние света на свете (LbyL)



Рождение аксионоподобных частиц (ALP)

Рассеяния света на свете:

- Измерения при $m < 5 \text{ ГэВ}/c^2$

Поиск ALP:

- Возможность покрыть область $50 \text{ МэВ}/c^2 - 5 \text{ ГэВ}/c^2$
- Идеальный случай → калориметры?

Публикации

11 публикаций, из них 4(+1 принята) статей, 6 статей по материалам конференций, **10 индексируются в WoS/Scopus**:

1. Burmasov N., Kryshen E., Buehler P., Lavicka R. Upcgen: A Monte Carlo simulation program for dilepton pair production in ultra-peripheral collisions of heavy ions // Comput. Phys. Commun. 2022. Vol. 277. P. 108388.
2. Burmasov N., Kryshen E. Update on Upcgen, an event generator for two-photon and photoproduction processes in ultraperipheral collisions // Int. J. Mod. Phys. E. 2026. Vol. 35. P. 2641023.
3. ALICE Collaboration. Exclusive dimuon production and coherent charmonium photoproduction at forward rapidity in ultra-peripheral Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.36$ TeV // arXiv:2605.13569 [nucl-ex], **accepted for publication in JHEP**. 2026.
4. Burmasov N. Central diffraction and ultra-peripheral collisions in ALICE in Run 3 and 4 // Phys. Part. Nucl. 2022. Vol. 53. P. 297-302.
5. Bühler P., Burmasov N., Lavička R., Kryshen E. Feasibility study of tau-lepton anomalous magnetic moment measurements with ultra-peripheral collisions at the LHC // EPJ Web Conf. 2022. Vol. 262. P. 01021.
6. d'Enterria D., Burmasov N., Kryshen E. et al. Opportunities for new physics searches with heavy ions at colliders // J. Phys. G. 2023. Vol. 50. P. 050501.
7. Burmasov N. Perspectives of tau g-2 measurements with the ALICE experiment at the LHC // Int. J. Mod. Phys. A. 2024. Vol. 39. P. 2443023.
8. Burmasov N., Kryshen E., Bühler P., Lavicka R. Feasibility studies of tau-lepton anomalous magnetic moment measurements in ultraperipheral collisions at the LHC // Phys. Part. Nucl. 2023. Vol. 54. P. 590.
9. Burmasov N., Kryshen E., Buehler P., Lavicka R. Feasibility of tau g-2 measurements in ultra-peripheral collisions of heavy ions // SciPost Phys. Proc. 2025. Vol. 16. P. 022.
10. Burmasov N. Search for new physics in ultraperipheral collisions at the Large Hadron Collider // Phys. Atom. Nucl. 2022. Vol. 85. P. 942.
11. Burmasov N. Prospects of light-by-light scattering measurements and axion-like particle searches at the LHC // St. Petersburg Polytech. Univ. J. Phys. Math. 2023. Vol. 16. P. 308.

Апробация

1. LXXI International Conference “NUCLEUS-2021. Nuclear physics and elementary particle physics. Nuclear physics technologies”, Санкт-Петербург, 22 сентября 2021 г.
2. LXXII International Conference “NUCLEUS-2022. Fundamental problems and applications”, Москва, 12 июля 2022 г.
3. XI International Conference on New Frontiers in Physics, Крит, Греция, 8 сентября 2022 г.
4. International Conference PhysicA.SPb/2022, Санкт-Петербург, 17 октября 2022 г.
5. XXI Ломоносовская конференция, Москва, 25 августа 2023 г.
6. Научная сессия секции ядерной физики ОФН РАН, Дубна, 4 апреля 2024 г.
7. 42nd International Conference on High Energy Physics (ICHEP 2024), Прага, Чехия, 18 июля 2024 г.
8. XXV International Workshop-School on High Energy Physics and Quantum Field Theory (QFTHEP), Москва, 3 июля 2025 г.
9. LXXV International Conference “NUCLEUS-2025. Nuclear physics, elementary particle physics and nuclear technologies”, Санкт-Петербург, 4 июля 2025 г.
10. 33rd International Workshop on Deep Inelastic Scattering and Related Subjects (DIS 2026), Болонья, Италия, 4 мая 2026 г.
11. The 14th Annual Large Hadron Collider Physics Conference (LHCP 2026), Париж, Франция, 22 мая 2026 г.

Положения, выносимые на защиту

- Разработан специализированный генератор событий Ursgen для ультрапериферических столкновений, позволяющий рассчитывать потоки квазиреальных фотонов с использованием реалистичного зарядового форм-фактора ядра и моделировать фотон-фотонные и фотон-ядерные процессы в заданной кинематической области.
- В рамках генератора Ursgen реализован расчет сечений когерентного фоторождения тяжелых векторных мезонов в ультрапериферических Pb–Pb столкновениях с учетом глюонных экранировок, полученных из аппроксимации экспериментальных данных или рассчитанных в приближении лидирующих твистов.
- В рамках генератора Ursgen реализован расчет эксклюзивного рождения пар лептонов с обобщенной γ -вершиной и произвольным значением аномального магнитного момента a_l .
- Измерены сечения когерентного фоторождения J/ψ и $\psi(2S)$ мезонов в передней области быстрот $-4 < y < -2.5$ в ультрапериферических Pb–Pb столкновениях при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 5.36$ ТэВ.
- Измерено сечение эксклюзивного рождения пар мюонов в передней области быстрот $-4 < y < -2.5$ в ультрапериферических Pb–Pb столкновениях при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 5.36$ ТэВ.
- Получены ожидаемые ограничения на аномальный магнитный момент τ -лептона, которые могут быть достигнуты с использованием данных сеанса Run 3 в эксперименте ALICE.
- Получены ожидаемые выходы рассеяния света на свете в ультрапериферических Pb–Pb столкновениях для будущих сеансов работы БАК в эксперименте ALICE с применением оптимизированных критериев отбора сигнальных событий.
- Получены ожидаемые ограничения на константу связи аксионоподобных частиц с фотонами, которые могут быть достигнуты с использованием данных будущих сеансов работы БАК в эксперименте ALICE.

Спасибо за внимание!