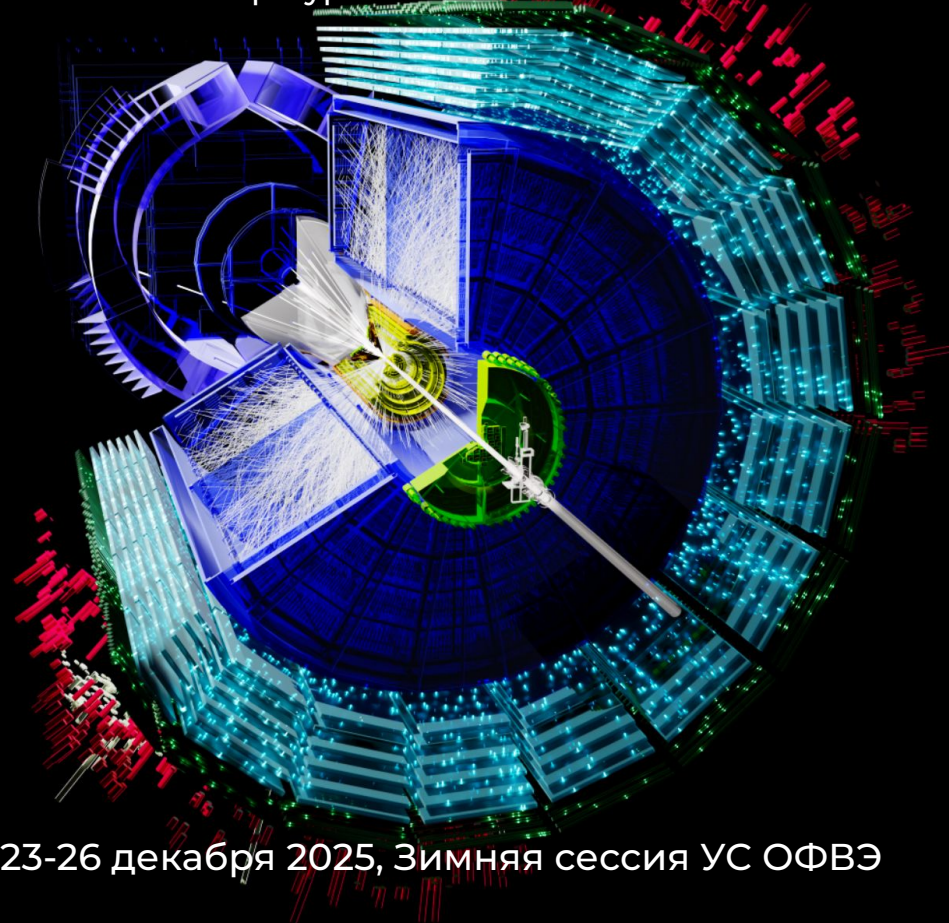


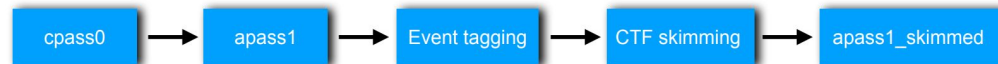
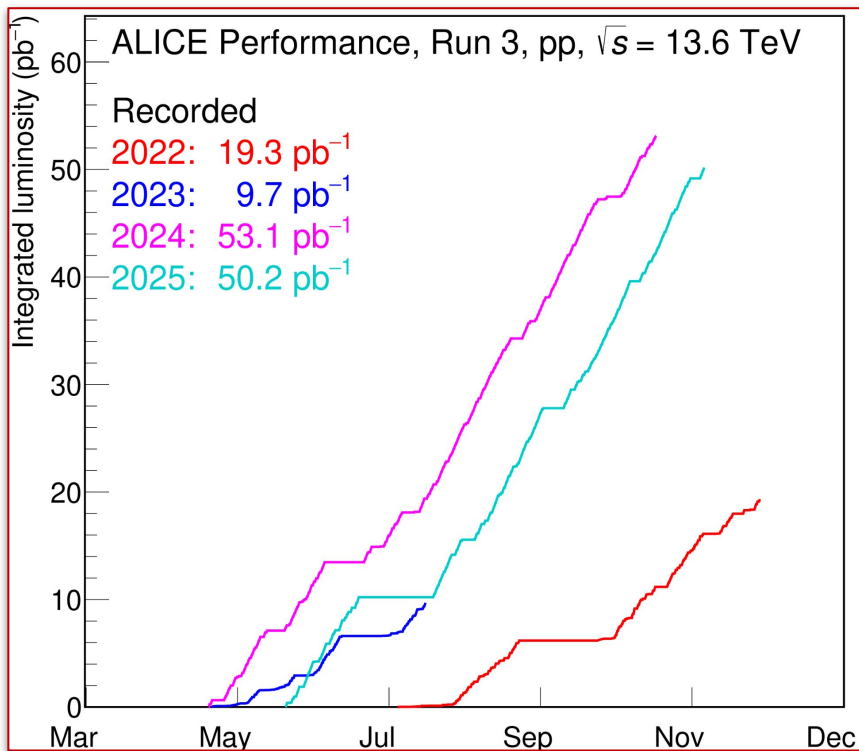
# Эксперимент ALICE в 2025 году

Назар Бурмасов от ЛРЯФ ОФВЭ



23-26 декабря 2025, Зимняя сессия УС ОФВЭ

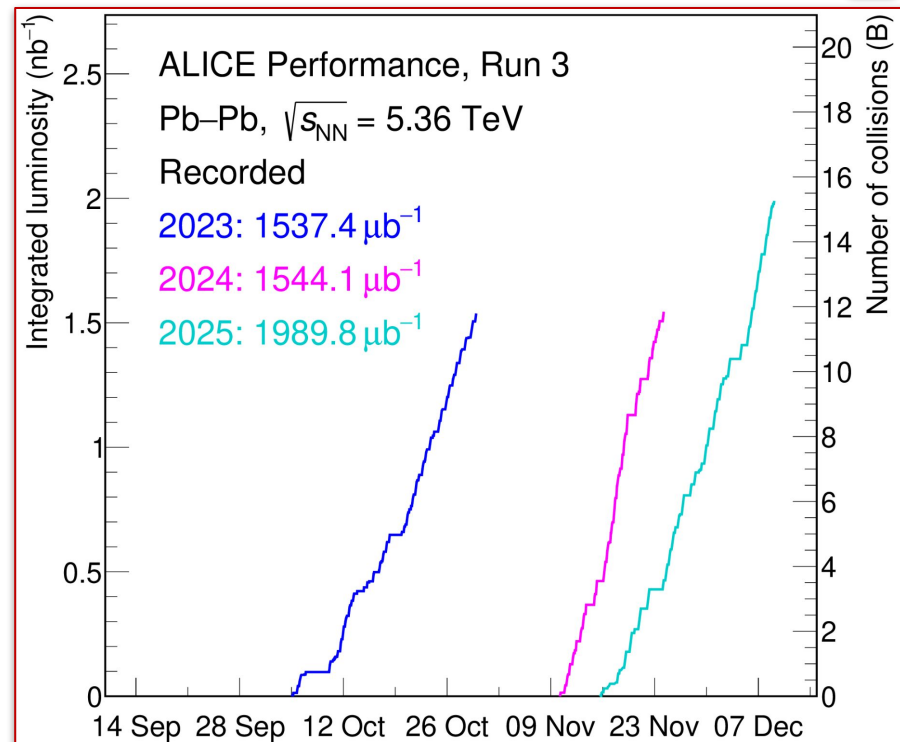
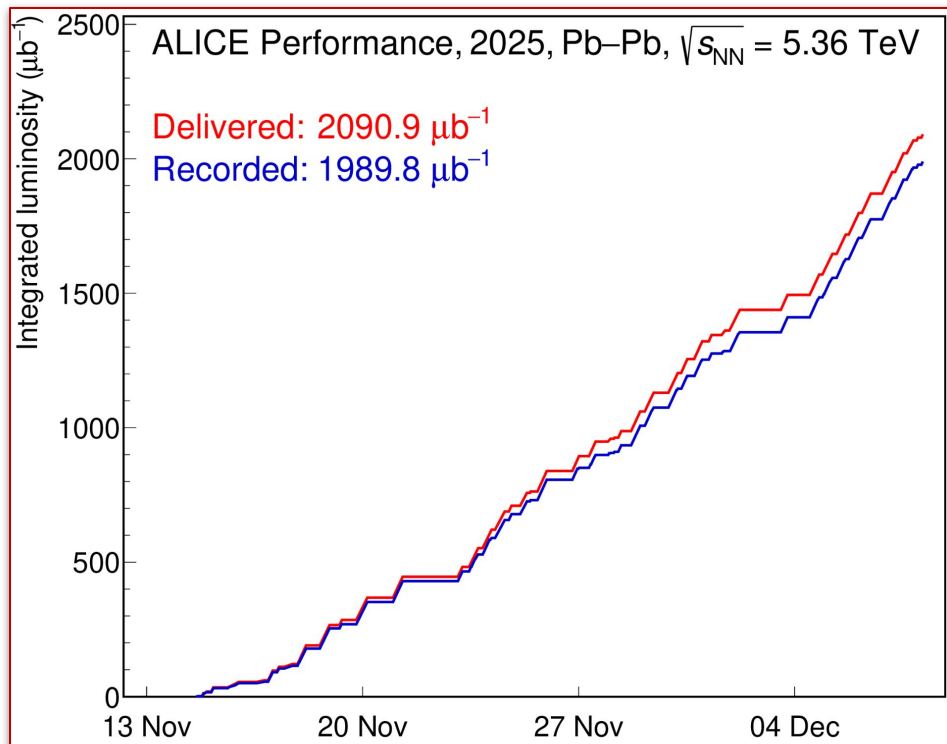
# Набор данных: pp при 13.6 ТэВ



- **cpass (Calibration pass):**  
калибровочная реконструкция
- **apass (Asynchronous pass):**  
реконструкция всех данных
- **Event tagging:**  
выбор интересных событий на уровне анализа
- **CTF skimming (Compressed TimeFrames):**  
фильтрация сырых данных, удаление “неинтересных” событий
- **apass skimmed:**  
повторная реконструкция только отобранных событий

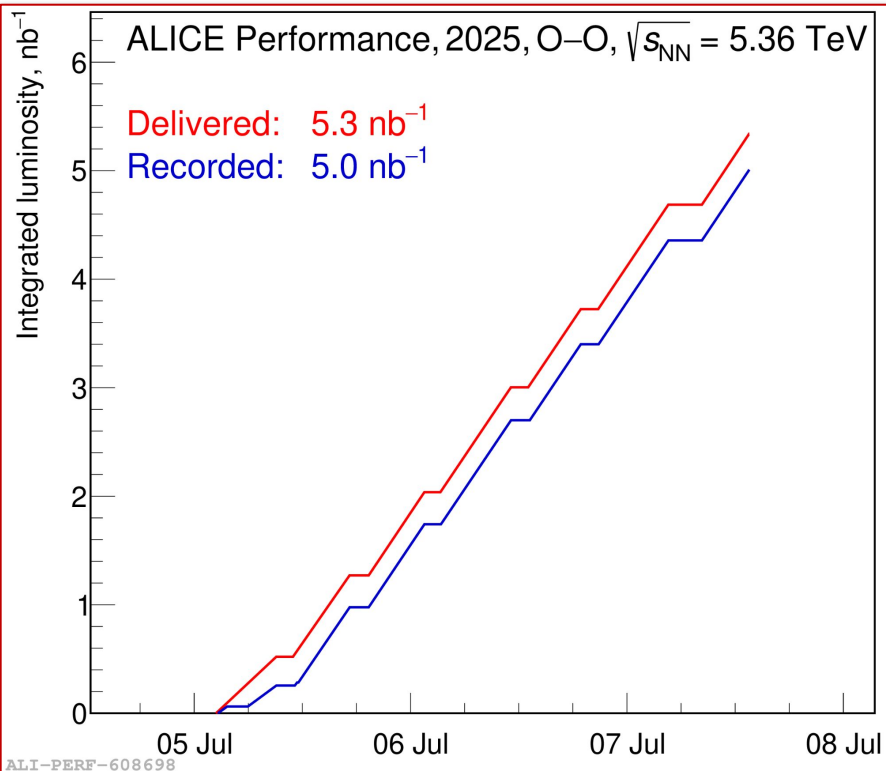
- Режим непрерывного считывания при 500 кГц с малым  $\mu \sim 0.03$
- Эффективность — **95%**

# Набор данных: Pb-Pb при 5.36 ТэВ



- Набор данных в режиме непрерывного считывания
- Эффективность **95%**
- **2025** — 1.99  $\text{nb}^{-1}$ , **Run 3** — 5.07  $\text{nb}^{-1}$  → все данные реконструируются и сохраняются

# Набор данных: легкие ядра

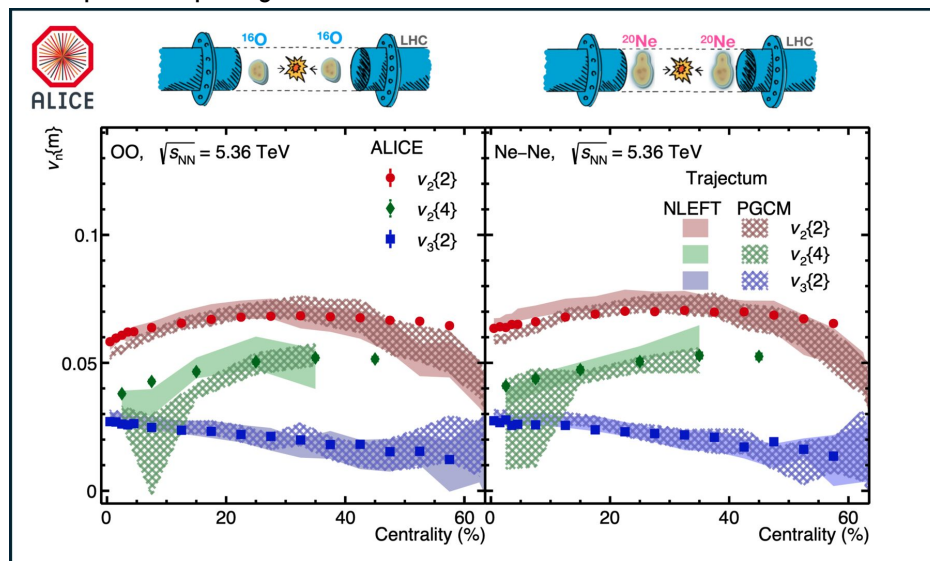


План: несколько дней для легких ядер

- **O-O**  $5 \text{ nb}^{-1}$  при 5.36 ТэВ
- **p-O**  $7.3 \text{ nb}^{-1}$  при 9.62 ТэВ
- **Ne-Ne**  $0.88 \text{ nb}^{-1}$  при 5.36 ТэВ

Первые результаты!

ALICE: 2509.06428



# Основные результаты ALICE

- **Множество результатов из Run 1 и Run 2**
  - Обобщение в обзорной статье:  
[A journey through QCD](#), EPJC 84 (2024) 8, 813
- **Качественные и количественные**  
оценки свойств КГП
- Успешная модификация установки и большая  
выборка новых данных:  
**новые результаты Run 3 на подходе**

ALICE, EPJC 84 (2024) 8, 813

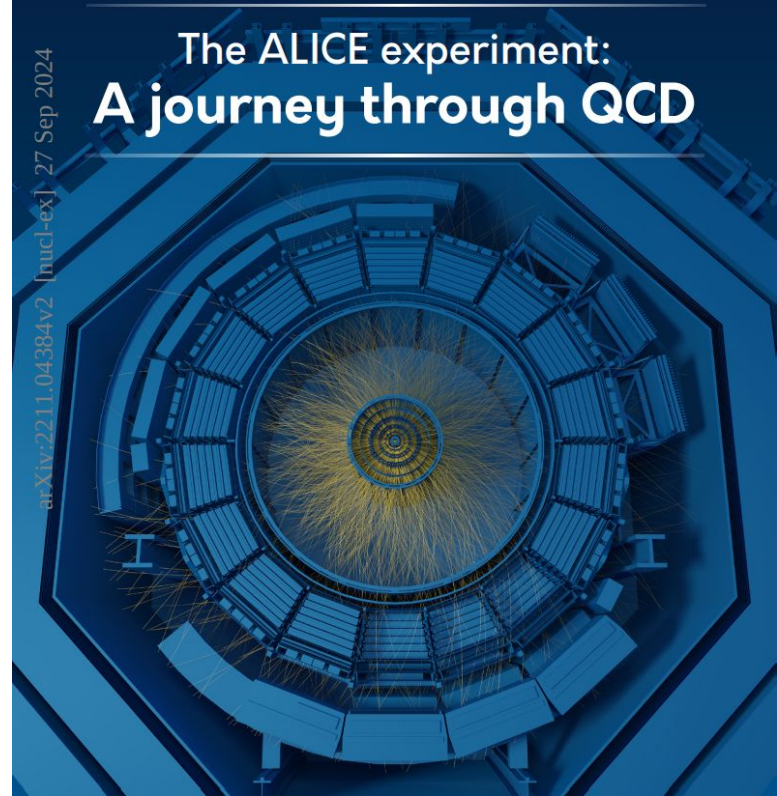
CERN-EP-2022-227

27 October 2022



## The ALICE experiment: A journey through QCD

arXiv:2211.04384v2 [nucl-ex] 27 Sep 2024





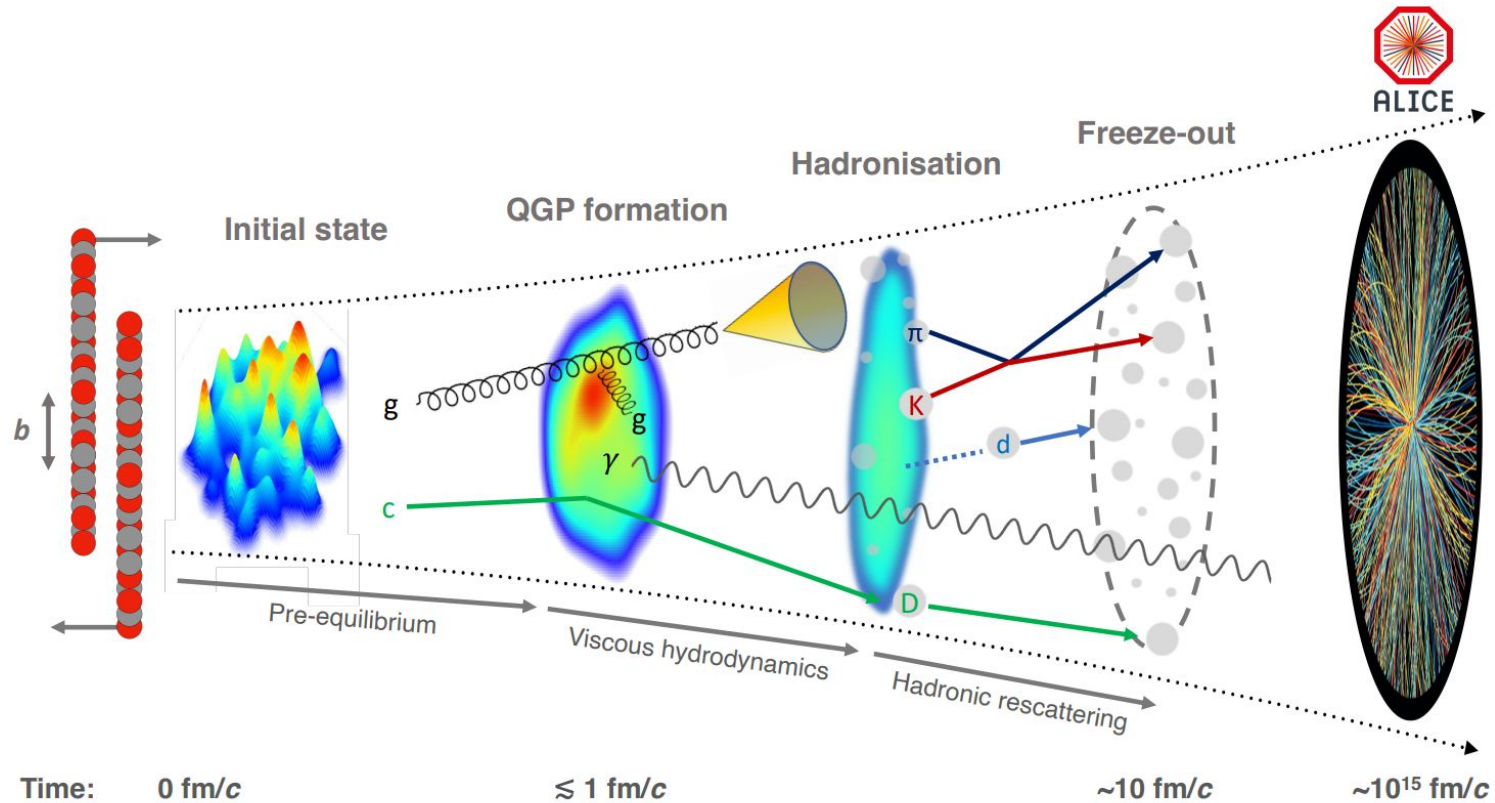


ALICE  
Pb-Pb 5.36 TeV

Избранные новые результаты



# Цель — исследование свойств КГП



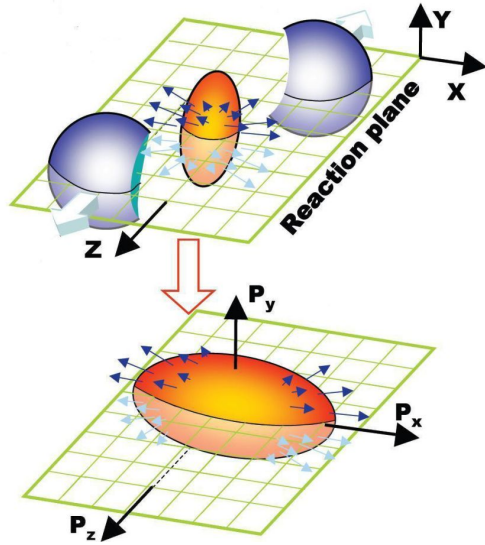
Time: 0 fm/c

$\lesssim 1$  fm/c

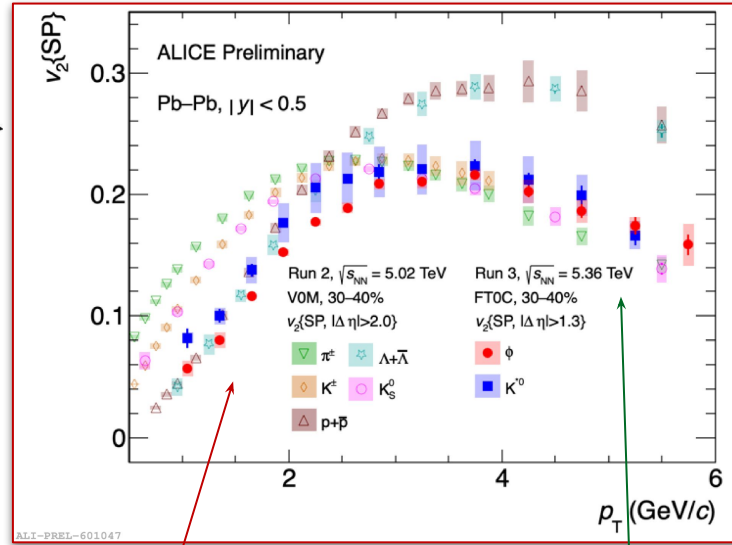
$\sim 10$  fm/c

$\sim 10^{15}$  fm/c

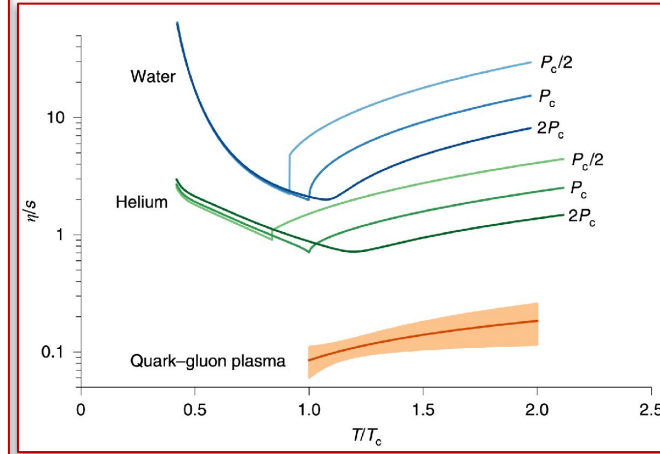
# Свойства КГП и анизотропные потоки



Упорядочение по массе



Упорядочение по барионам и мезонам



- **Пространственная анизотропия** начального состояния  $\rightarrow$  **анизотропия по импульсам**
- Коллективные потоки частиц исследуются разложением Фурье  $\frac{dN}{d\phi} \propto 1 + \sum_{n=1}^{\infty} 2v_n(p_T) \cos(n(\phi - \Psi_n))$
- Расширение материи описывается **гидродинамическими моделями с низкой вязкостью, близкой к квантовому пределу**
- **КГП — сильно связанная жидкость**



# Коллективные эффекты в малых системах



Анизотропный поток в O-O и Ne-Ne:

- Свидетельство **коллективных эффектов**
- **Хорошее согласие** с предсказаниями гидродинамических моделей
- Наилучшее согласие с **NLEFT**

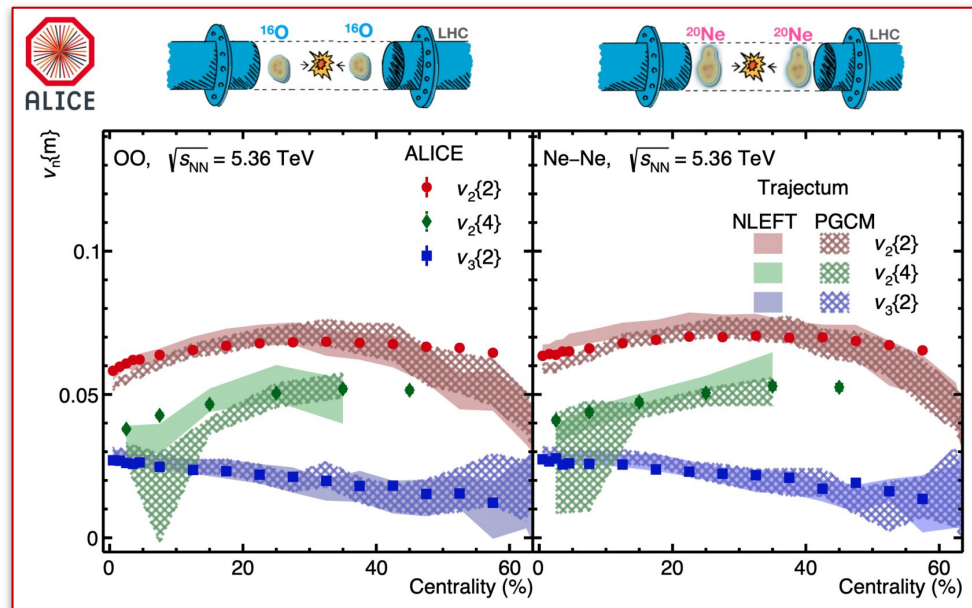
**NLEFT (Nuclear Lattice Effective Field Theory):**

EFT + моделирование состояния нуклонов на решетке

**PGCM (Projected Generator Coordinate Method):**

EFT + моделирование коллективных корреляций нуклонов

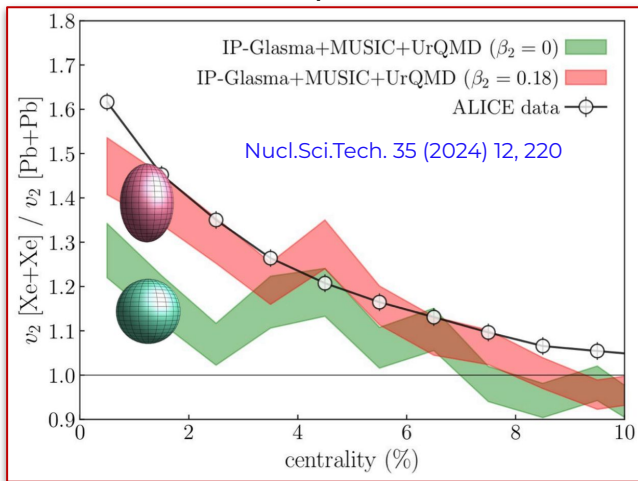
ALICE: 2509.06428



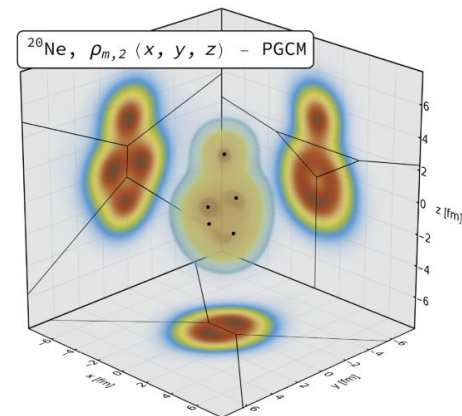
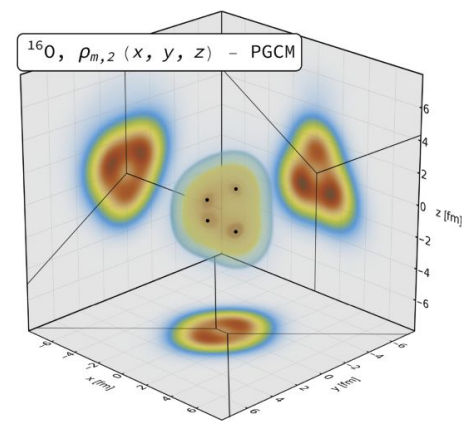
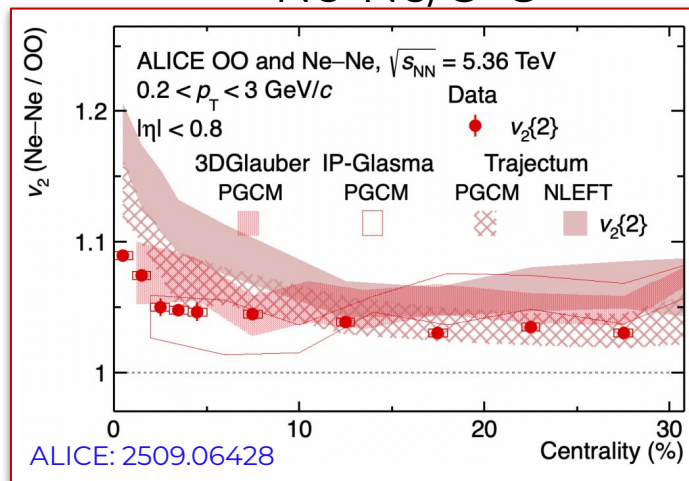


# Потоки и форма ядер

Xe-Xe/Pb-Pb



Ne-Ne/O-O



## • NLEFT и PGCM:

Неон оказывается “кеглей”, кислород — “тетраэдром”

## • Отношение $v_2$ в Ne-Ne и O-O:

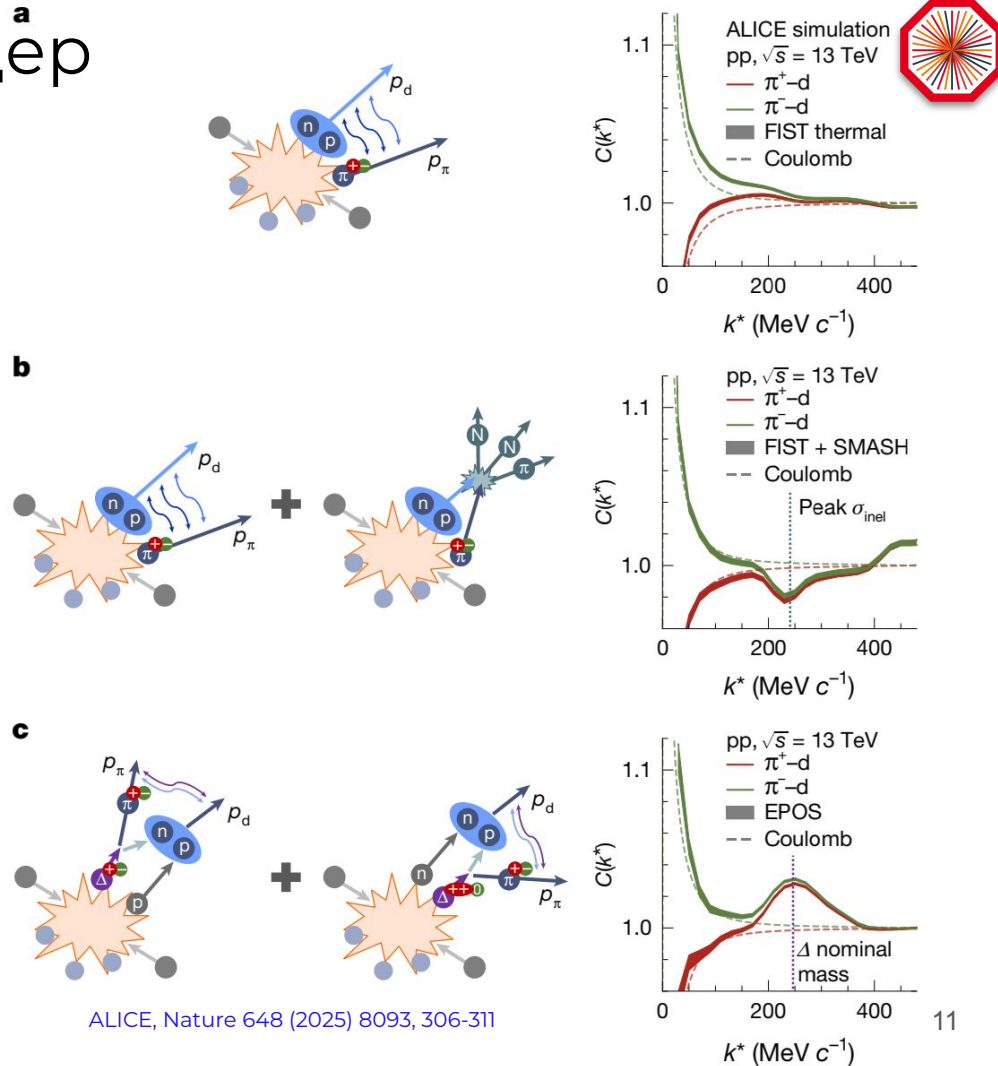
- Более выраженная анизотропия в центральных столкновениях
- Отличия в предсказаниях: разное описание динамики системы до термализации

## • Ценная информация для описания начального состояния

PRL 135 (2025) 1, 012302

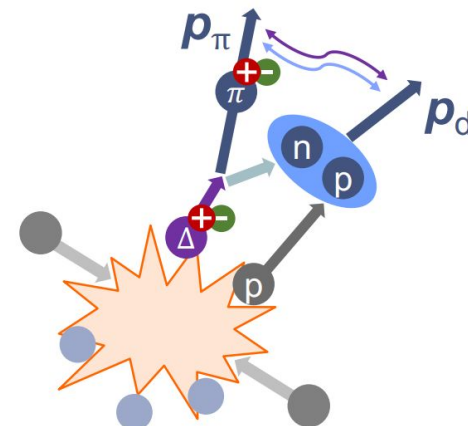
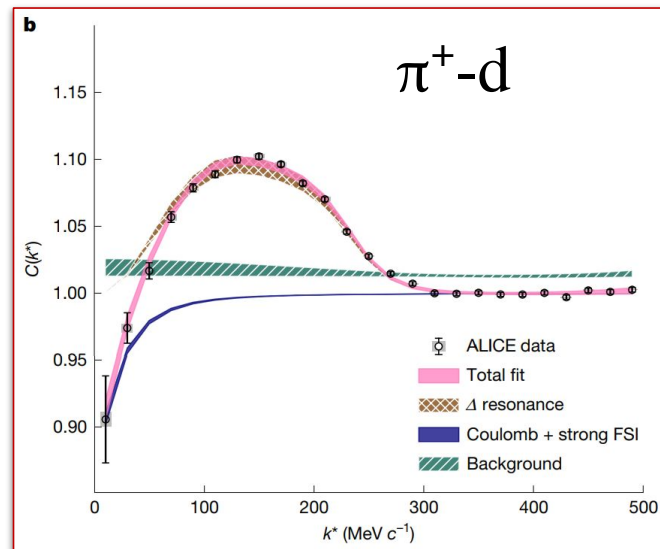
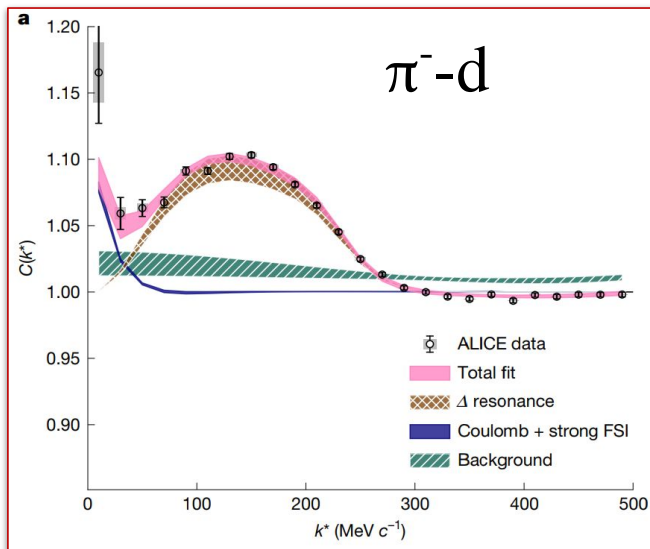
# Формирование легких ядер в столкновениях на БАК

- Температура материи в столкновениях **~100 МэВ**
- Энергия связи дейтрона **2.23 МэВ**  
— как он выживает?
- Ядра дейтрона могут формироваться в результате **слияния частиц, рождающихся в столкновении**
- Сценарии рождения дейтрона могут быть проверены **фемтоскопическими измерениями**





# Механизм формирования легких ядер

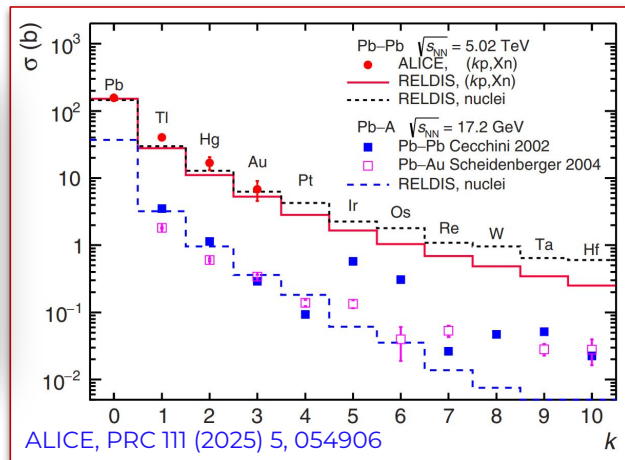
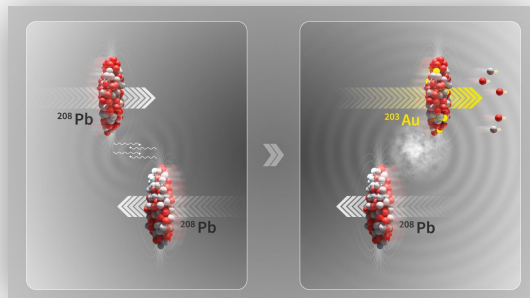


ALICE, Nature 648 (2025) 8093, 306-311

Измерения корреляций  $\pi$ -d:

- Модельно-независимое свидетельство: **дейтрон образуется при слиянии нейтрона из распада короткоживущего резонанса и протона**
- На  **$\Delta(1232)$**  приходится **~77%** дейтронов, рожденных из продуктов распадов резонансов

# Рождение золота из свинца



- При взаимодействии ядра с высокоэнергетическим фотоном возможно также **испускание протонов**
- В ALICE **впервые измерены сечения испускания протонов и нейтронов** в УПС ядер свинца:  $(0p,Xn)$ ,  $(1p,Xn)$ ,  $(2p,Xn)$ ,  $(3p,Xn)$ ,  $(1p,1n)$ ,  $(1p,2n)$ , and  $(1p,3n)$
- Измерения несут ценную информацию для моделей электромагнитной диссоциации ядер

nature

Explore content ▾ About the journal ▾ Publish with us ▾ Subscribe

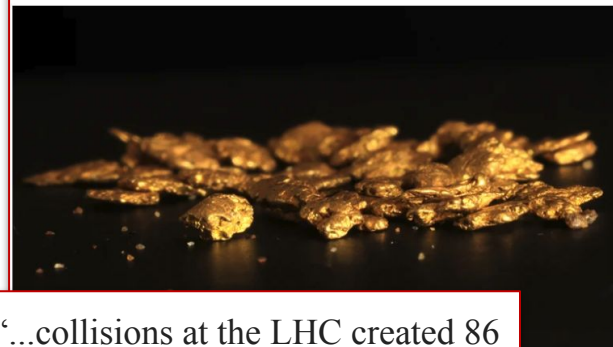
[nature](#) > [news](#) > article

NEWS | 09 May 2025

## Physicists turn lead into gold – for a fraction of a second

Colliding beams of lead create fast-moving, short-lived gold ions. Understanding the process could help to refine particle-accelerator experiments.

By [Elizabeth Gibney](#)



“...collisions at the LHC created 86 billion gold nuclei — around 29 trillionths of a gram...”

# Задачи группы ПИЯФ в 2025 году



- Разработка и поддержка централизованной системы **отбора событий для Run 3**
- Система мониторинга и расчета **интегральной светимости**
- **Обработка данных по рождению дилептонов и векторных мезонов** в Pb-Pb УПС
- Проведение соответствующих **теоретических расчетов**

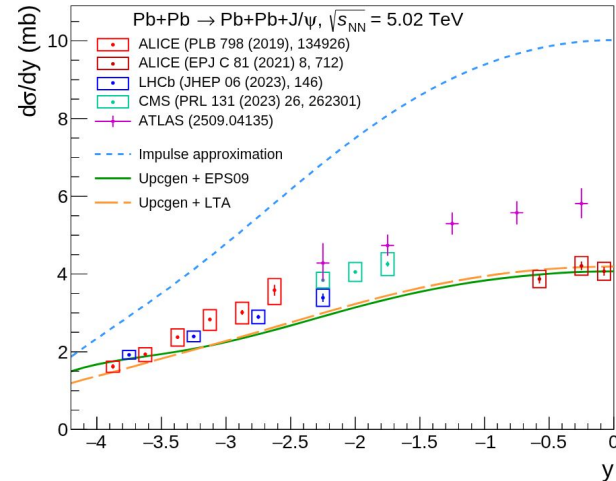
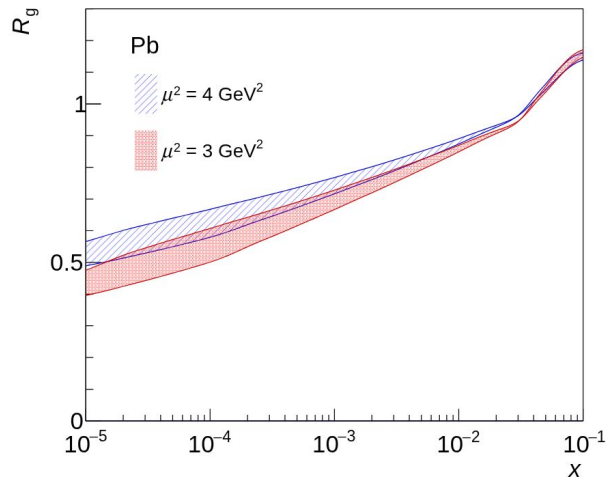
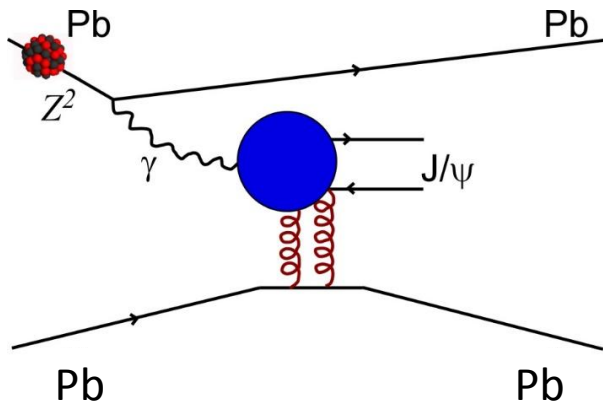


# Теоретические расчеты сечений фоторождения



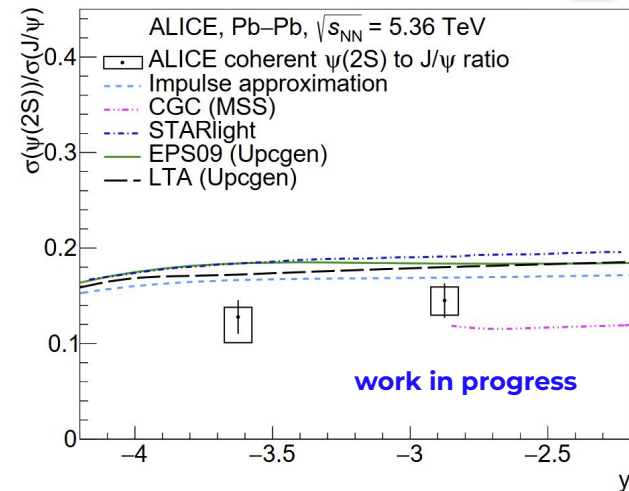
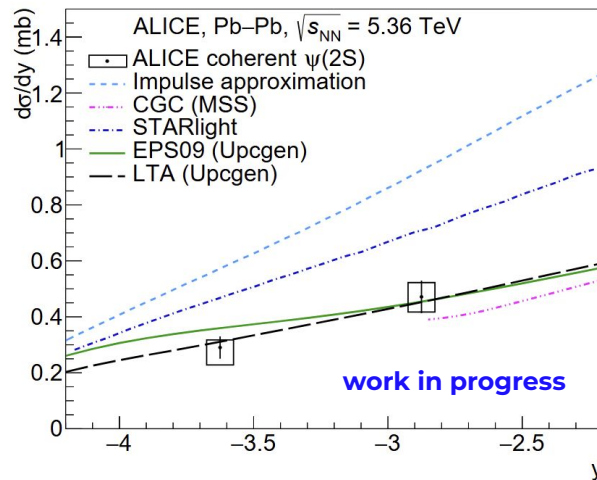
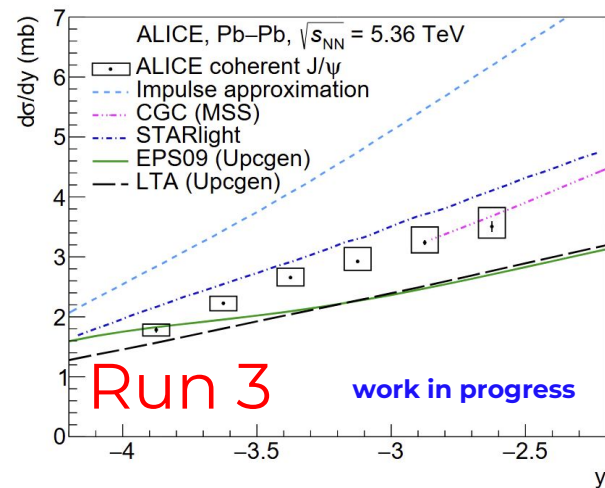
Глюонные экранировки  
в приближении  
лидирующих твистов (LTA)

Предсказания Upcgen и  
данные по когерентному  
рождению  $J/\psi$  при 5.02 ТэВ



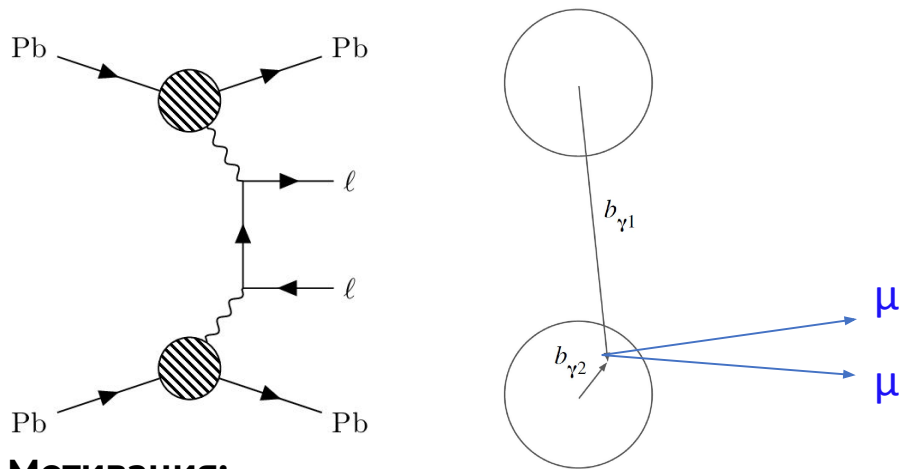
- **Upcgen:** генератор событий для ультрапериферических столкновений (Н. Бурмасов, Е. Крышень)
- **Новые разработки:** фоторождение чармония на основе лидирующего порядка пертурбативной КХД (Гузей, Крышень, Жалов, PRC 93 (2016), 055206) с использованием параметризаций глюонных экранировок на основе лидирующих твистов (Стрикман и др.)
- **Предсказания Upcgen** используются для сравнения с данными ALICE по  $J/\psi$  и  $\psi(2S)$  в Run 3

# Сечения когерентного фоторождения $J/\psi$ и $\psi(2S)$

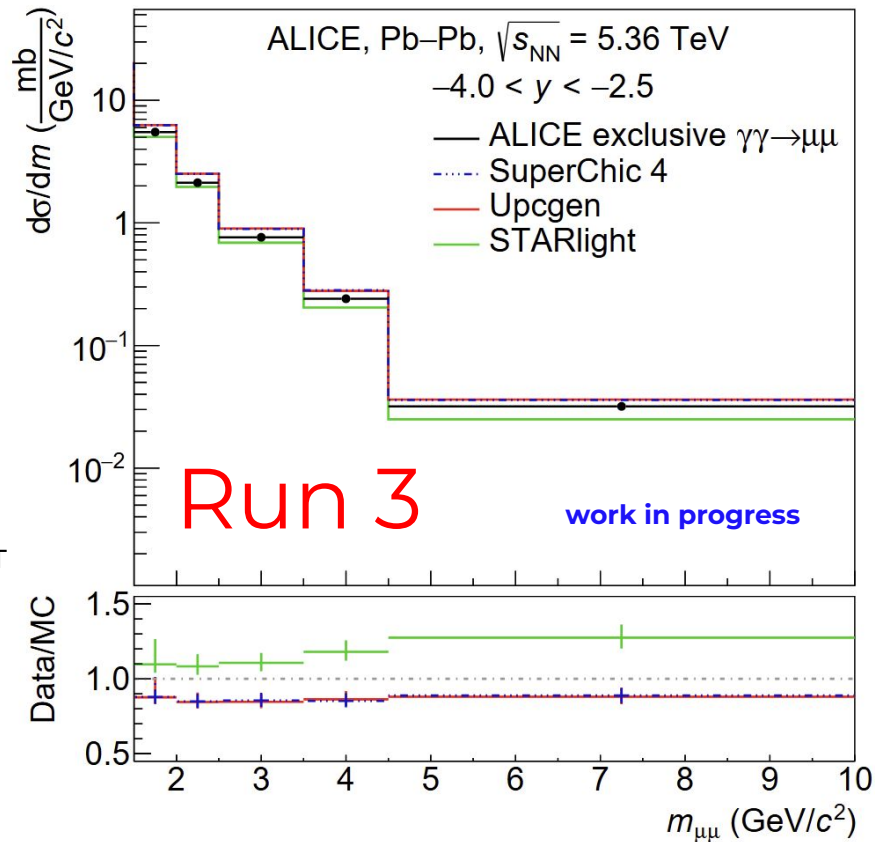


- Мотивация: сечение когерентного фоторождения чувствительно к эффектам экранировок
- Первое измерение УПС в Run 3, первое измерение на мюонном спектрометре в Run 3
- $\psi(2S)$  в передней области быстрот: хорошее согласие с EPS09 и LTA (**Upscgen**)
- Результаты по  $J/\psi$  выше предсказаний EPS09 и LTA (**Upscgen**)
- **Свидетельство сильных глюонных экранировок** (данные/импульсное приближение)

# Эксклюзивное рождение пар мюонов



- **Мотивация:**  
КЭД процесс в присутствии сильных ЭМ полей сталкивающихся ядер, “стандартная свеча”
- **STARlight** (стандарт в физике УПС) недооценивает данные на ~20-50% при больших быстротах
- **Сравнительно лучшее согласие** с **SuperChic** (Harland-Lang, Рыскин, Хозе и др.) и **Upcgen** (Бурмасов, Крышень и др.): учитываются потоки фотонов с прицельными параметрами меньше радиуса ядра







## Доклады

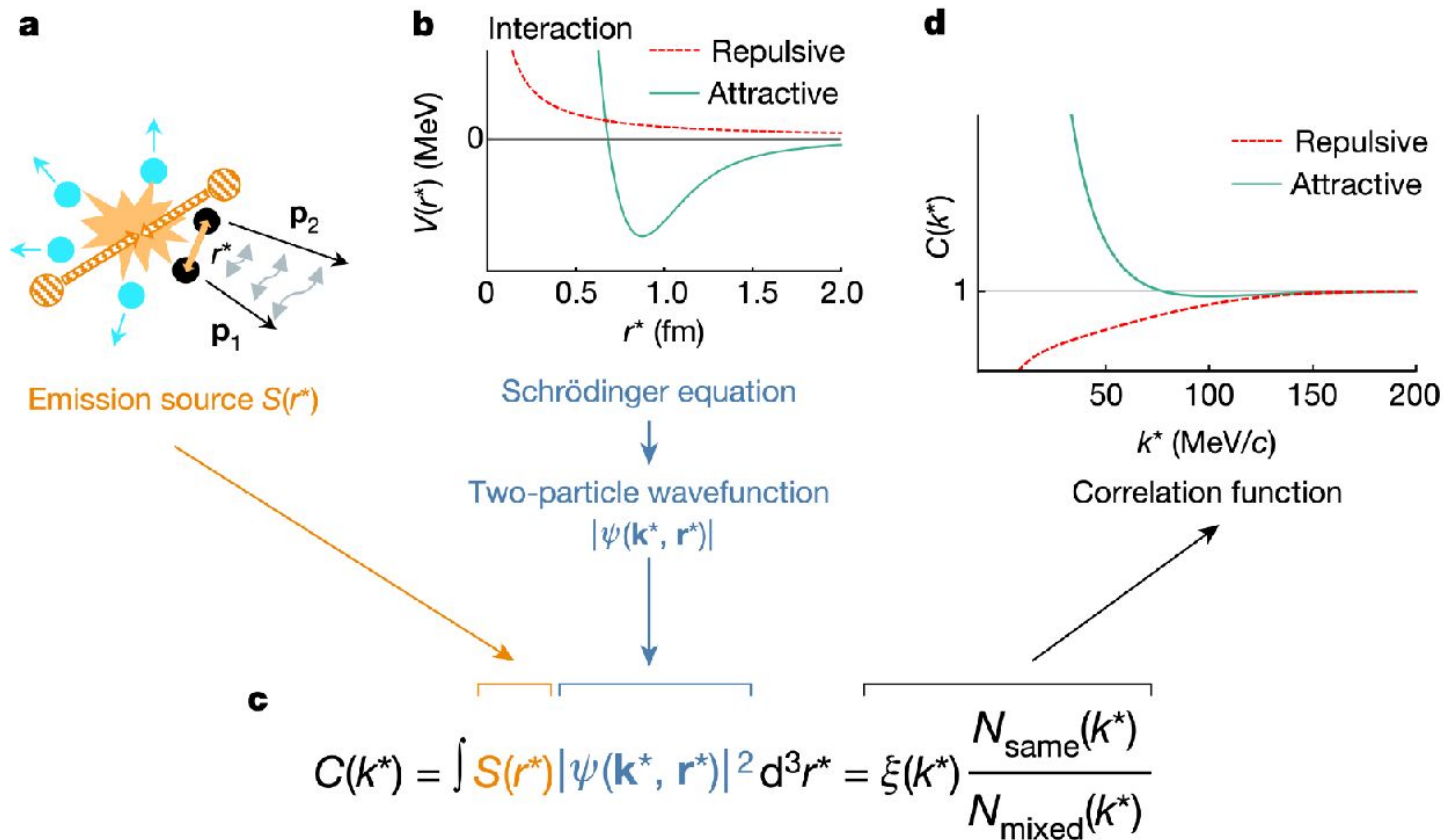
- Е. Крышень, Overview of ALICE results on ultra-peripheral collisions. XXXVII International workshop on High Energy Physics, Протвино, 23 июля 2025
- Н. Бурмасов, Overview of recent results from the ALICE experiment, QFTHEP-270, Москва, 3 июля 2025
- Н. Бурмасов, Upcgen: an event generator for two-photon and photoproduction processes in ultraperipheral collisions, LXXV Международная конференция «ЯДРО-2025. Физика атомного ядра и элементарных частиц. Ядерно-физические технологии», Санкт-Петербург, 4 июля 2025

## Публикации

- 69 коллаборационных публикаций, из них группа ПИЯФ принимала участие в 2:
  - First polarisation measurement of coherently photoproduced  $J/\psi$  in ultra-peripheral Pb–Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV, PLB 865 (2025) 139466
  - Proton emission in ultraperipheral Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV, PRC 111 (2025) 5, 054906
- N. Burmasov, E. Kryshen, Update on Upcgen an event generator for two-photon and photoproduction processes. Accepted for publication in International Journal of Modern Physics E
- N. Burmasov, E. Kryshen, P. Bühler, R. Lavička, Feasibility of tau g-2 measurements in ultra-peripheral collisions of heavy ions, SciPost Phys. Proc. 16, (2025) 022



С наступающим Новым Годом!

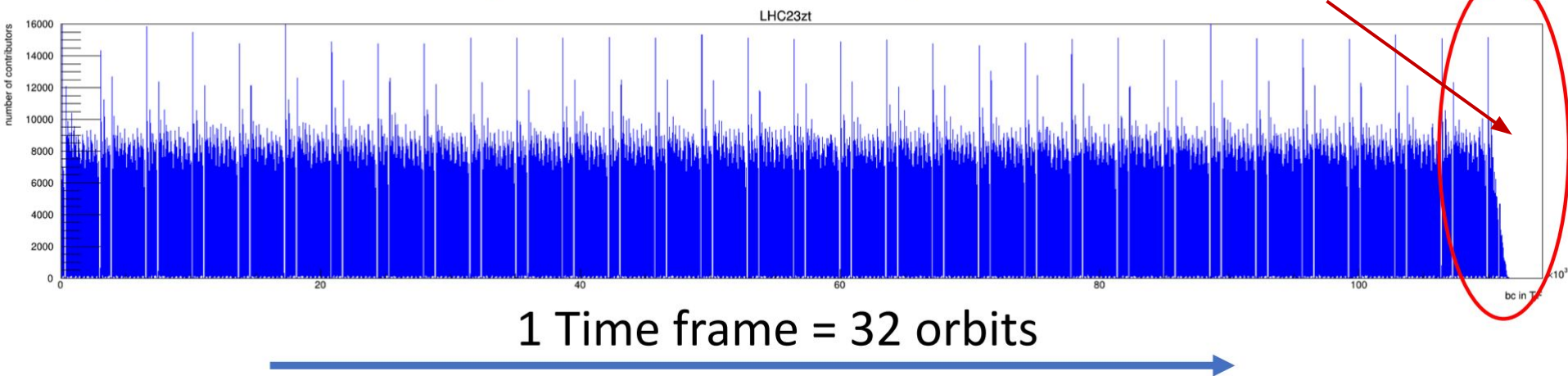




# Централизованная система отбора событий

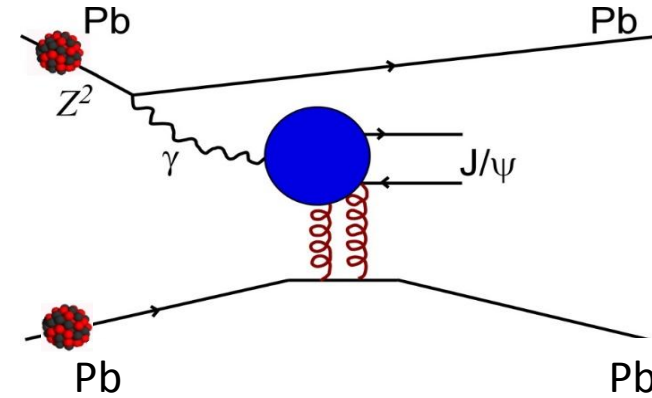
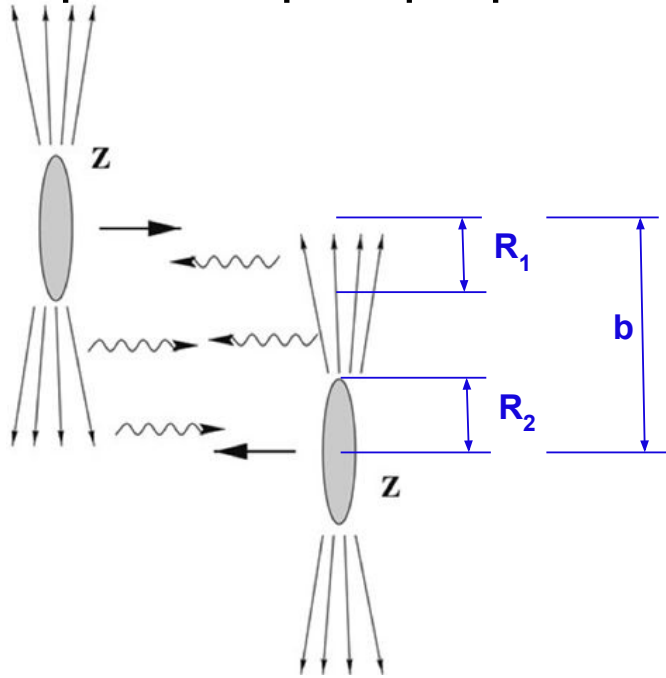


- Привязка первичных вершин и информации передних детекторов
- Отбор событий с триггером
- Подавление фона от взаимодействия пучков с газом и пайл-апа
- Контроль качества отбора событий
- Учет светимости в анализируемых выборках данных
- Детальные результаты анализа качества данных и расчетов светимости:  
<https://evsel-ga.web.cern.ch/data> Снижение эффективности реконструкции в ТРС в конце интервала набора данных





# Ультра-периферические столкновения



- $b > R_1 + R_2 \rightarrow$  адронные взаимодействия подавлены
- Поток фотонов  $\propto Z^2 \rightarrow$  **большие сечения** фотон-фотонных и фотоядерных процессов:
  - Векторные мезоны  $\rightarrow$  **партонная плотность в ядрах**
  - Эксклюзивное рождение пар лептонов  $\rightarrow$  **свойства электромагнитных взаимодействий**

# Когерентное фоторождение векторных мезонов в Upsilon gen

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

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

Глюонная экранировка

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

Guzey, Zhalov, JHEP 10 (2013) 207

Frankfurt, Guzey, Strikman, Zhalov, 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

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

Интеграл квадрата форм-фактора

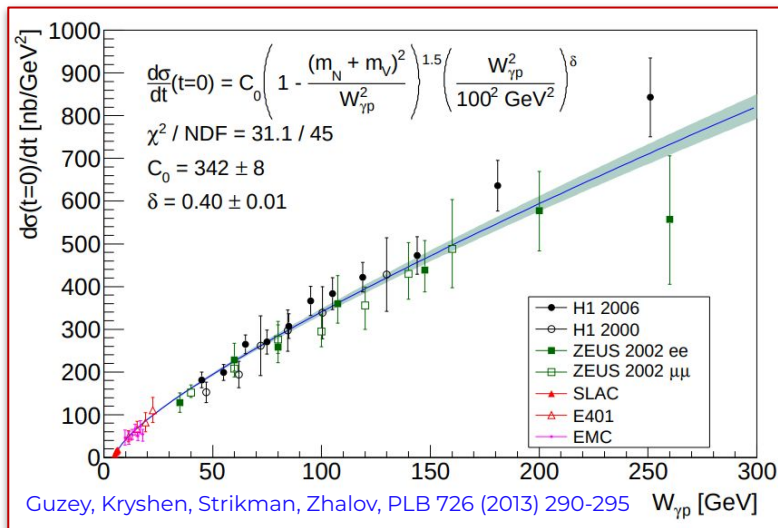
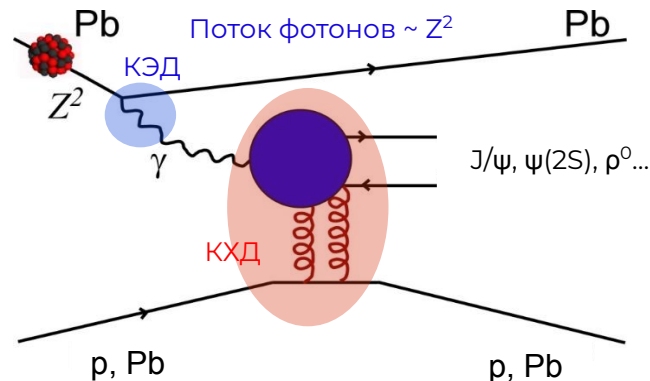
Фоторождение на протоне

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

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

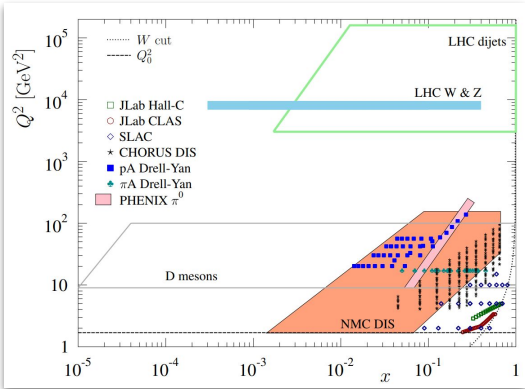
Глюонная плотность в  
протоне

Параметризация

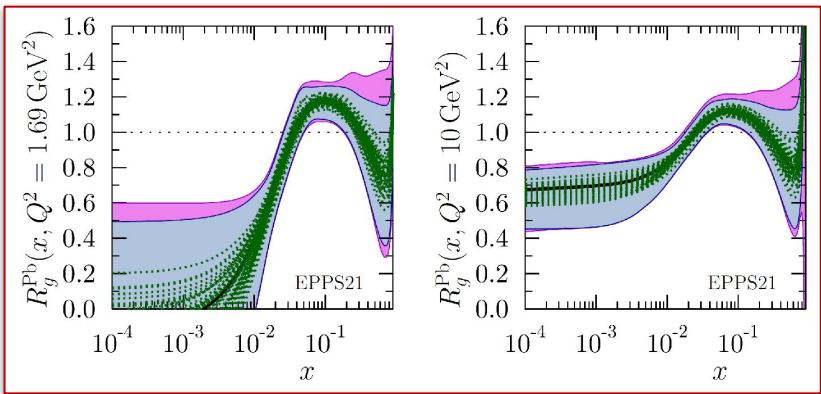


# Глюонные экранировки

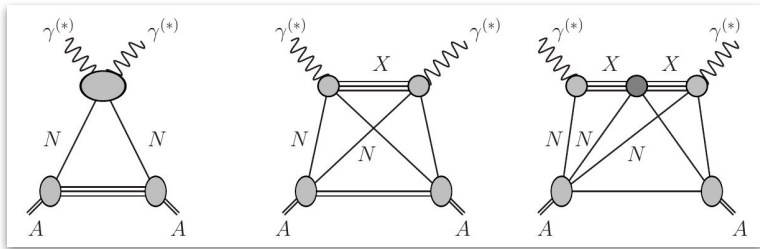
- Экранировка ~ подавление сечений при фоторождении на ядре по сравнению с протонами



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

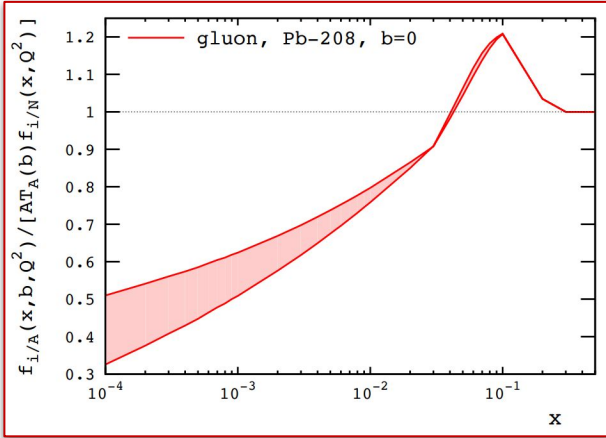


Eskola et al., EPJC 82 (2022) 413



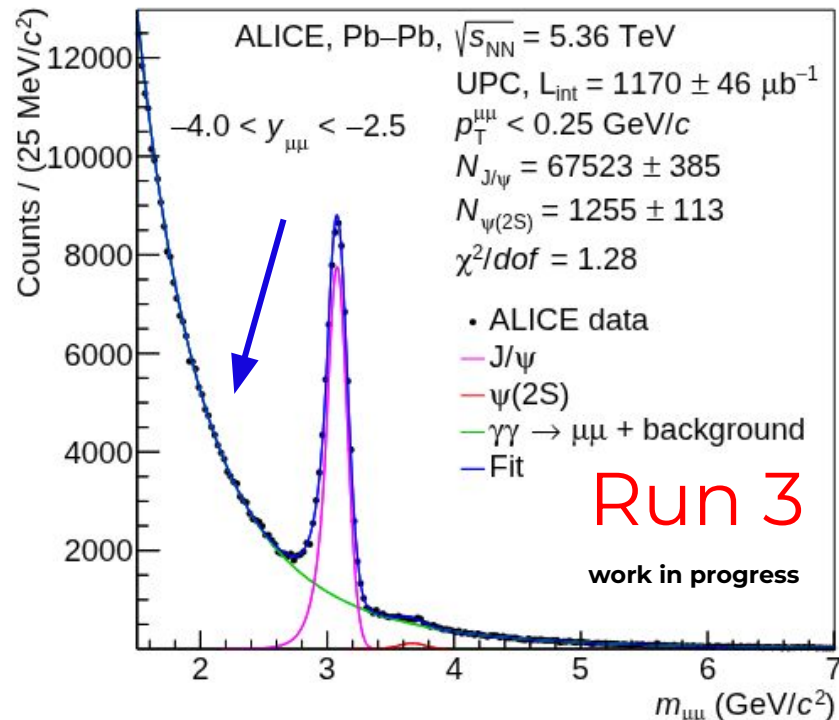
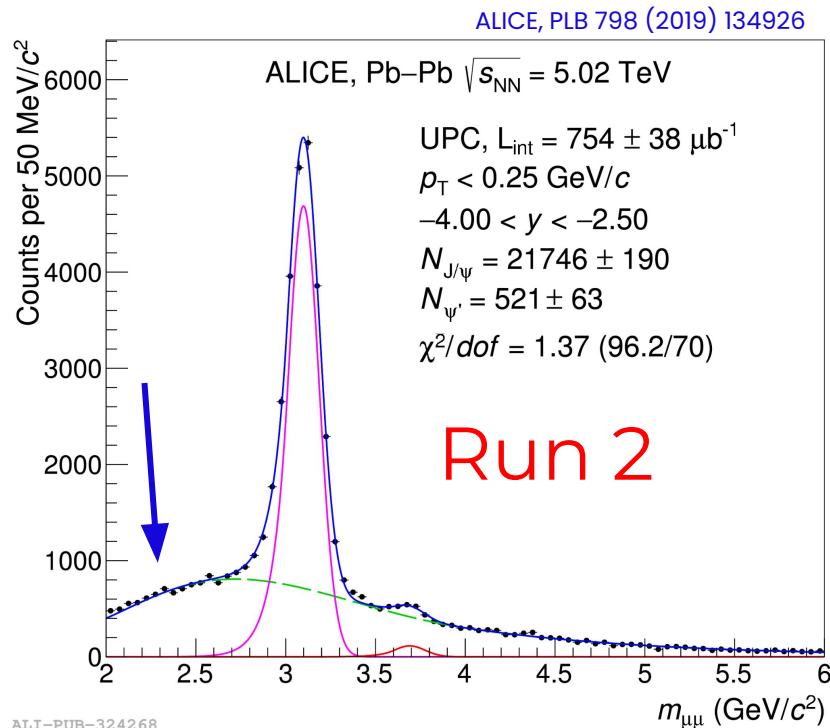
Приближение лидирующих твистов (LTA)  
→ Формализм Глаубера-Грибова

→ перерассеяние на нуклонах + учет дифракционных состояний



Frankfurt, Guzey, Stasto, Strikman, Rept.Prog.Phys. 85 (2022) 12, 126301

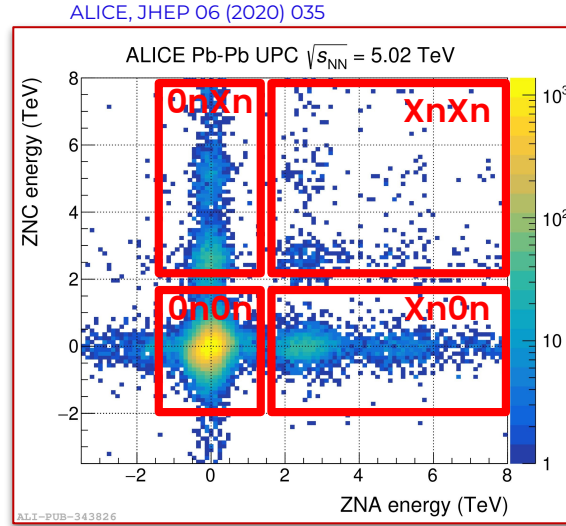
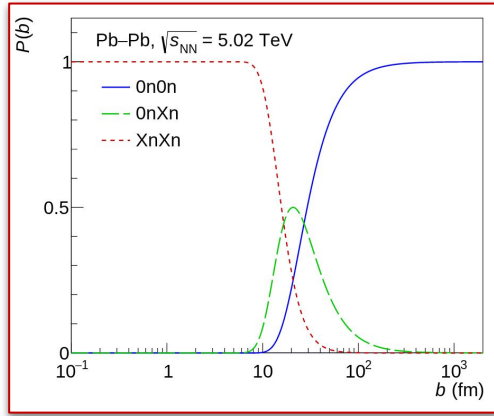
# Ультра-периферические столкновения в Run 3



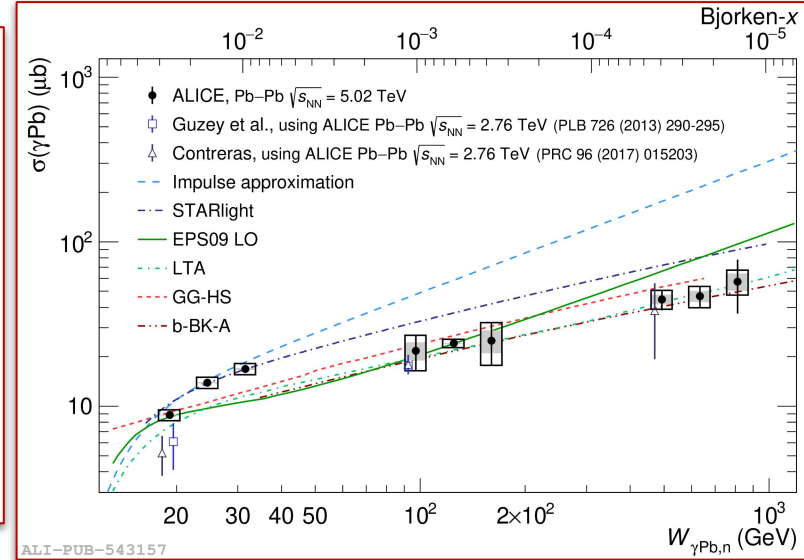
- Бестриггерный набор данных дает возможность продвинуться в область малых масс
- Нет эффектов, связанных с резким изменением эффективности в области J/ψ



# Регистрация нейтронов и фотоядерные сечения



ALICE, JHEP 10 (2023) 119



Guzey, Strikman, Zhavoronkov, EPJC 74 (2014) 7, 2942

Сечение

Потоки фотонов

$$\frac{d\sigma_{0n0n}^{PbPb}(y)}{dy} = n_{\gamma}^{0n0n}(y)\sigma_{\gamma Pb}(y) + n_{\gamma}^{0n0n}(-y)\sigma_{\gamma Pb}(-y)$$

$$\frac{d\sigma_{0nXn}^{PbPb}(y)}{dy} = n_{\gamma}^{0nXn}(y)\sigma_{\gamma Pb}(y) + n_{\gamma}^{0nXn}(-y)\sigma_{\gamma Pb}(-y)$$

Искомое фотоядерное сечение

Дополнительный **обмен фотонами**:

- Большая вероятность **возбуждения ядер** с испусканием нейтронов вперед
- Нейтроны **регистрируются в ZDC**
- Разделение вкладов больших и малых бьеркеновских  $x$

# Эксклюзивное рождение пар мюонов

- **STARlight** описывает данные при быстроте ( $-3.0 < y < -2.5$ )
- **STARlight** недооценивает данные на ~40% при больших быстротах
- Расхождение растет с увеличением масс и быстрот
- **Upcgen** и **SuperChic 4** переоценивают сечение на 10-20% — независимо от быстроты

