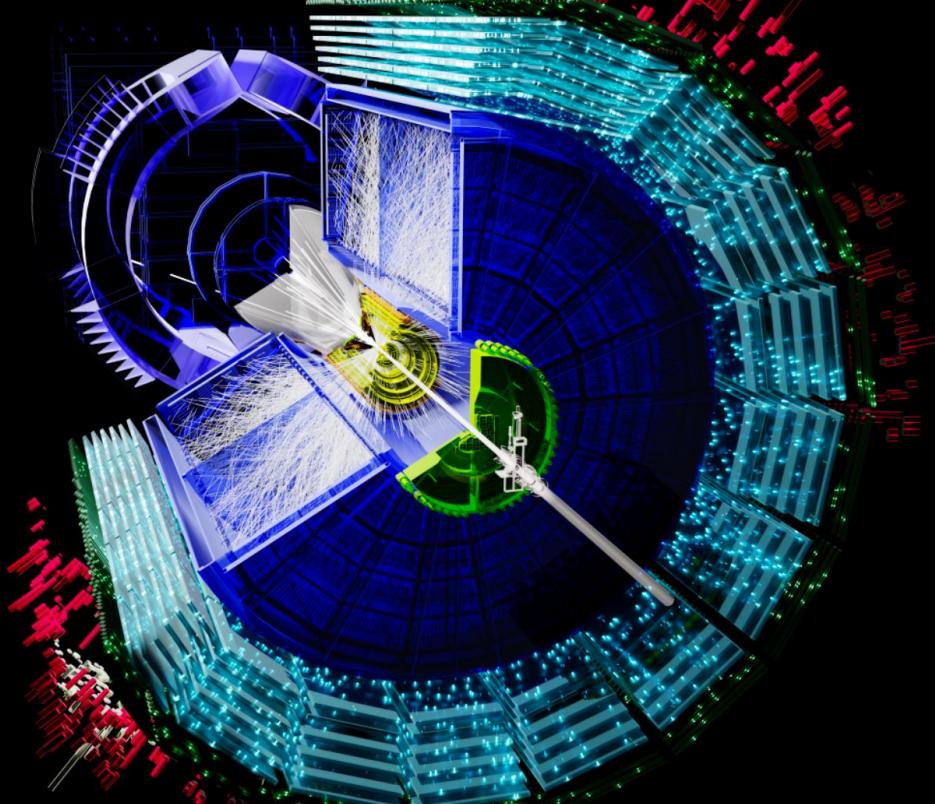


Эксперимент ALICE в 2025 году

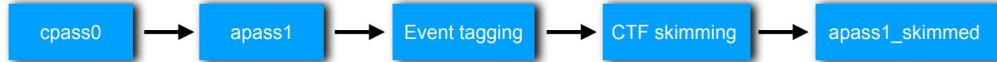
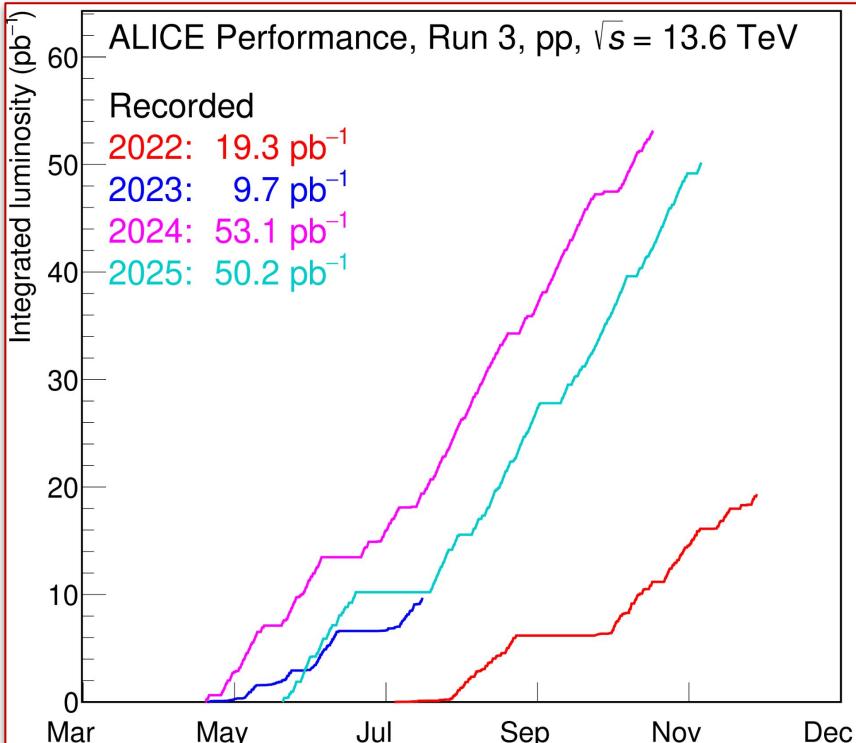
Назар Бурмасов от ЛРЯФ ОФВЭ



23-26 декабря 2025, Зимняя сессия УС ОФВЭ



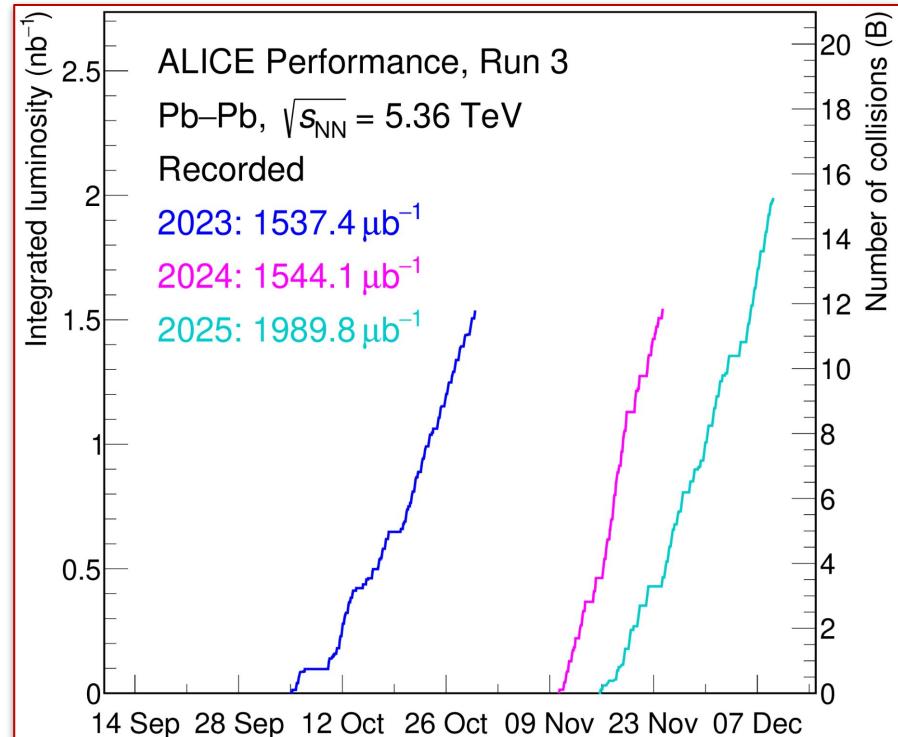
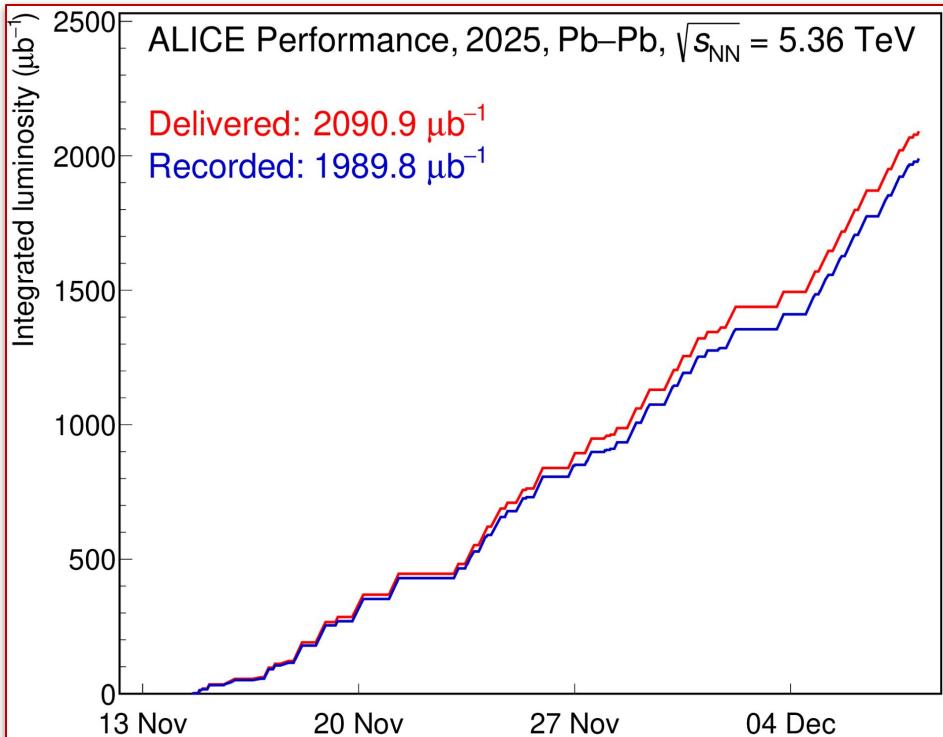
Набор данных: pp при 13.6 ТэВ



- **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

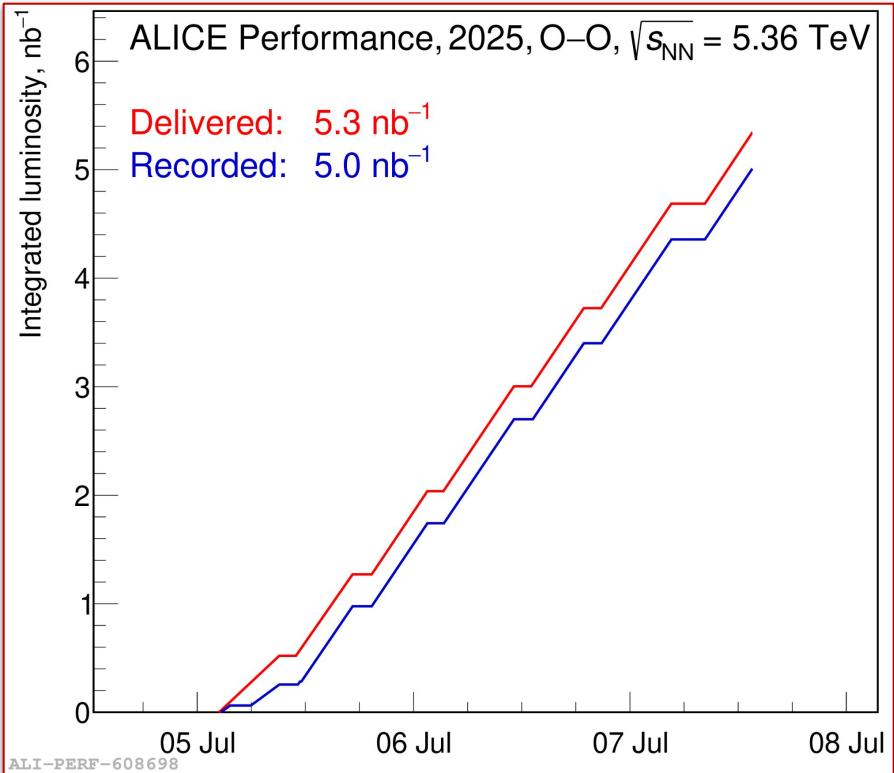
- Режим непрерывного считывания при 500 кГц с малым $\mu \sim 0.03$
- Эффективность — **95%**

Набор данных: Pb-Pb при 5.36 ТэВ



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

Набор данных: легкие ядра

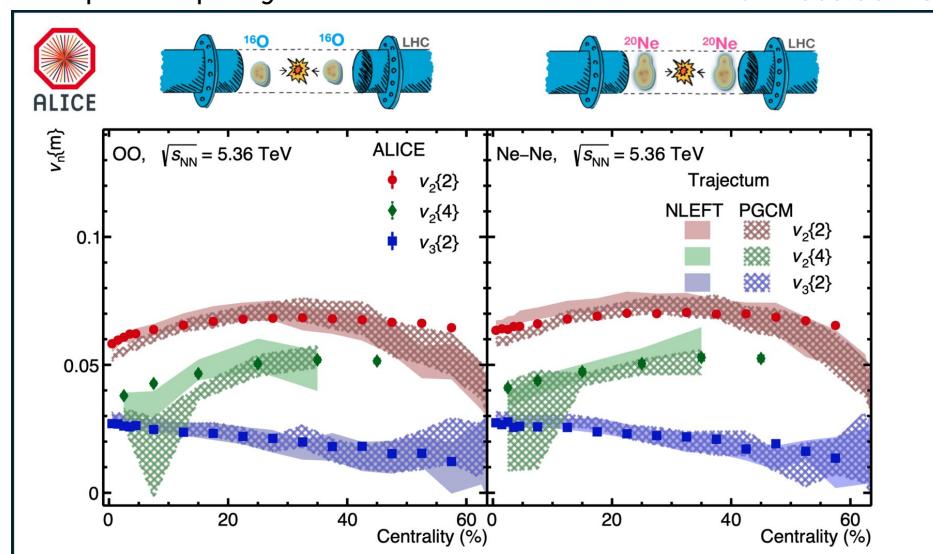


План: несколько дней для легких ядер

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

Первые результаты!

ALICE: 2509.06428



Основные результаты ALICE

ALICE, EPJC 84 (2024) 8, 813

CERN-EP-2022-227

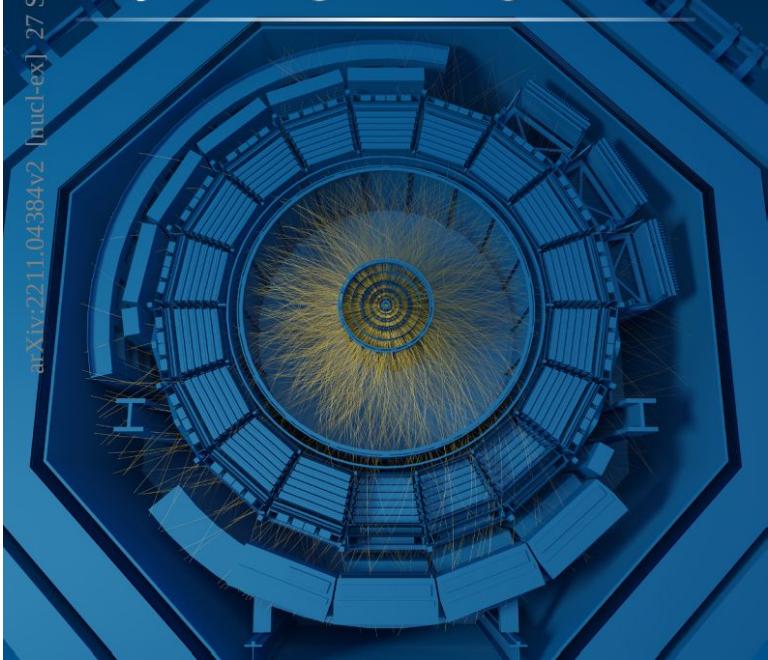
27 October 2022



- **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

The ALICE experiment: **A journey through QCD**

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



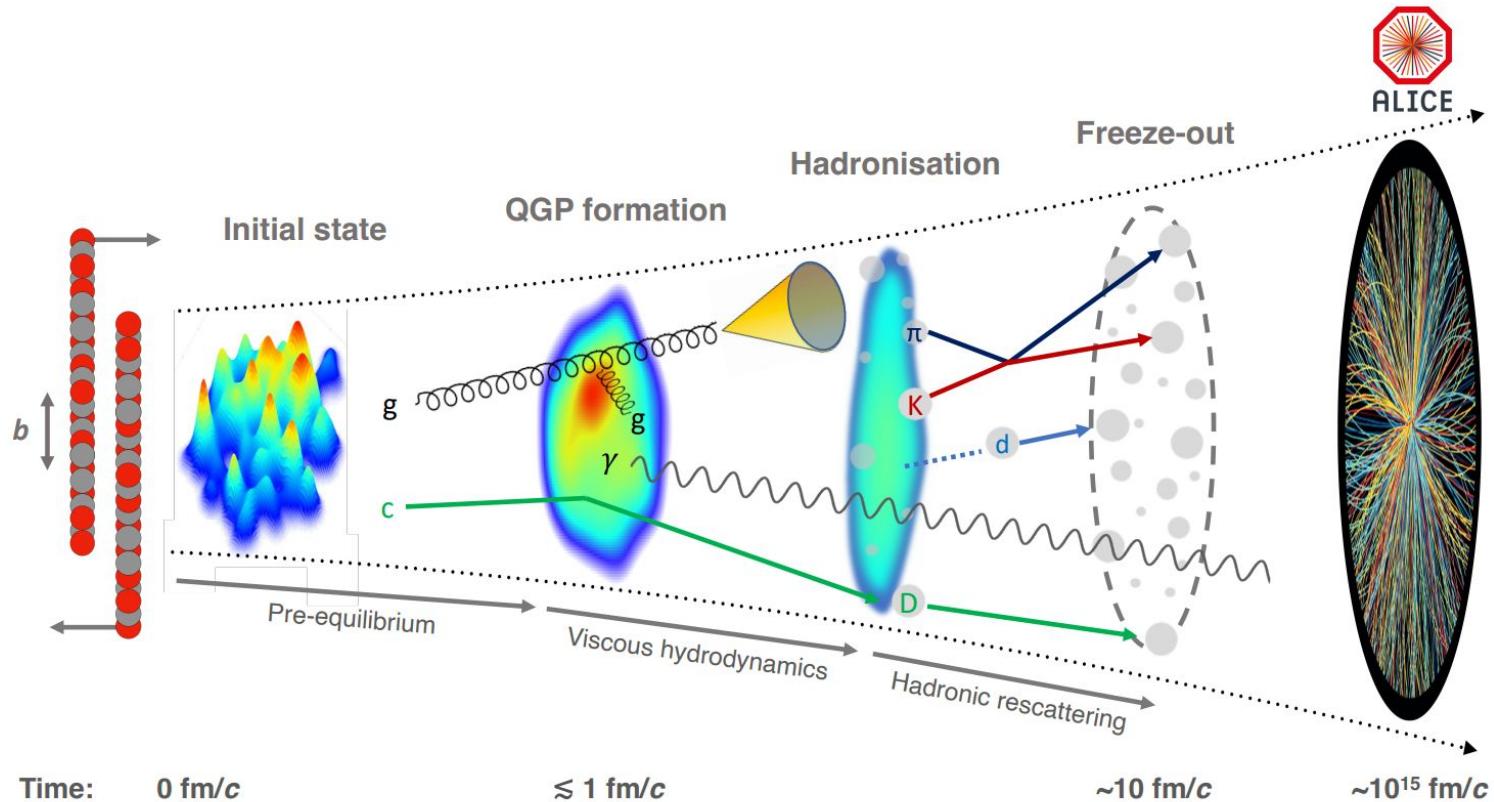


ALICE

Pb-Pb 5.36 TeV

Избранные новые результаты

Цель — исследование свойств КГП



Time: 0 fm/c

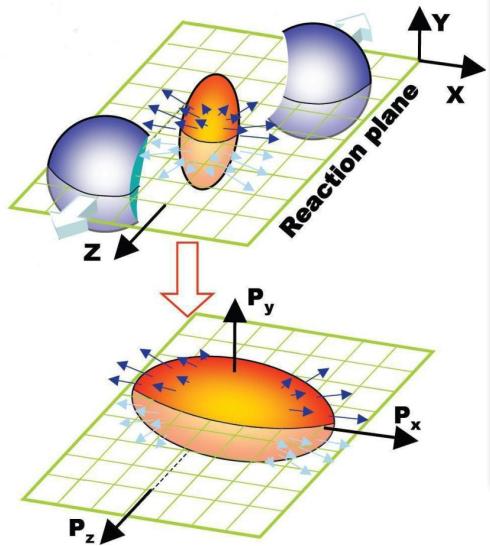
$\lesssim 1 \text{ fm}/c$

$\sim 10 \text{ fm}/c$

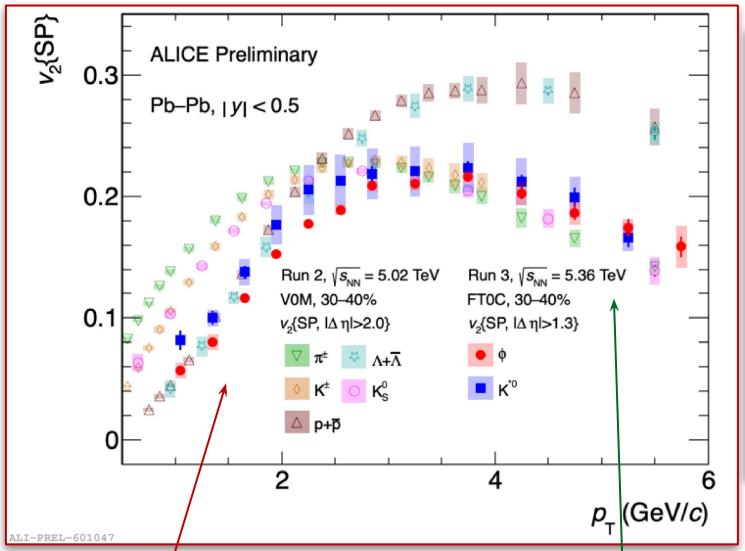
$\sim 10^{15} \text{ fm}/c$



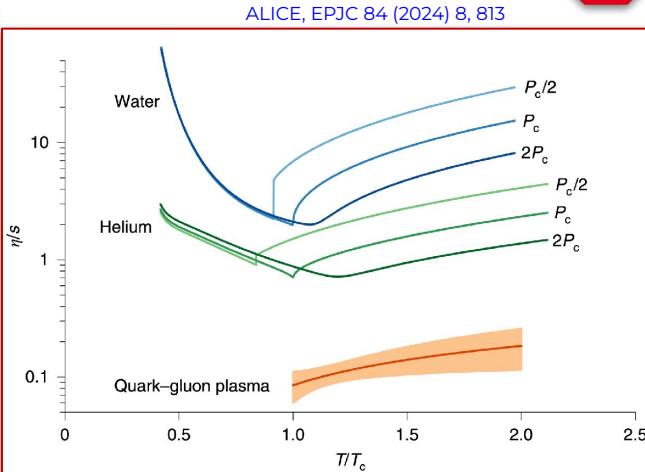
Свойства КГП и анизотропные потоки



Упорядочение по массе



Упорядочение по барионам и мезонам



- **Пространственная анизотропия** начального состояния → **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 связанный жидкость**

Коллективные эффекты в малых системах



Анизотропный поток в O-O и Ne-Ne:

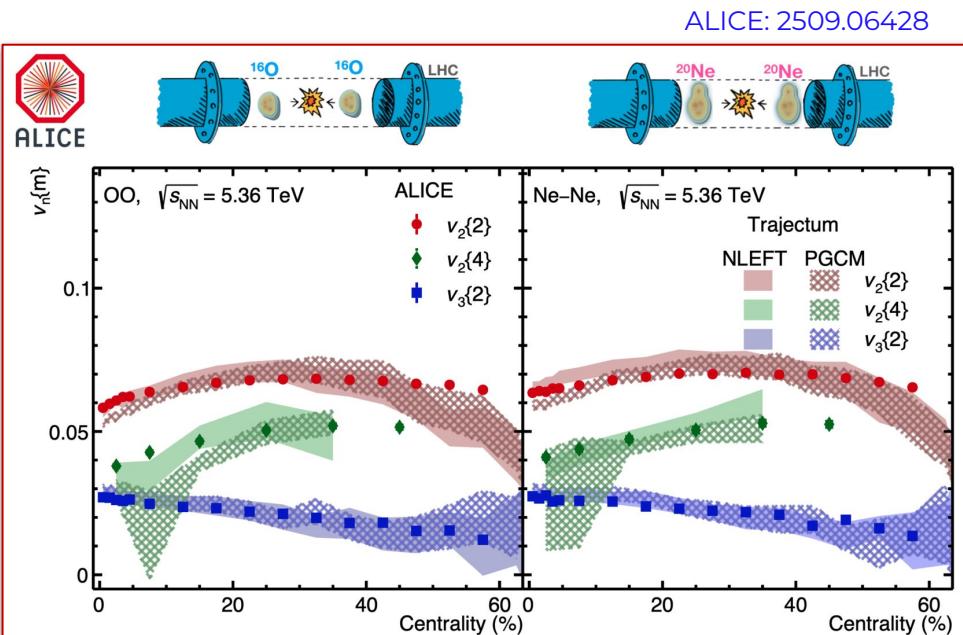
- Свидетельство **коллективных эффектов**
- **Хорошее согласие** с предсказаниями гидродинамических моделей
- Наилучшее согласие с **NLEFT**

NLEFT (Nuclear Lattice Effective Field Theory):

EFT + моделирование состояния нуклонов на решетке

PGCM (Projected Generator Coordinate Method):

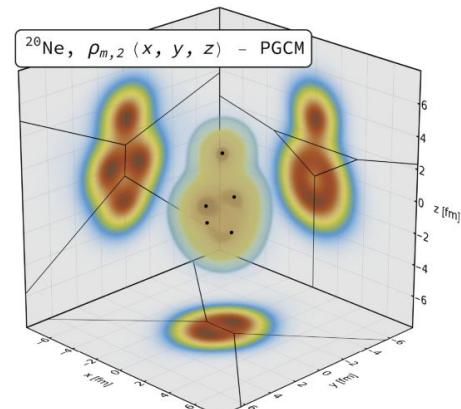
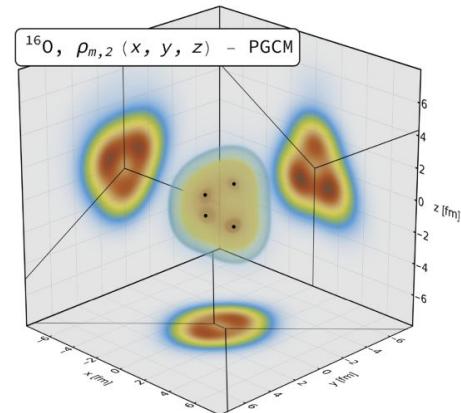
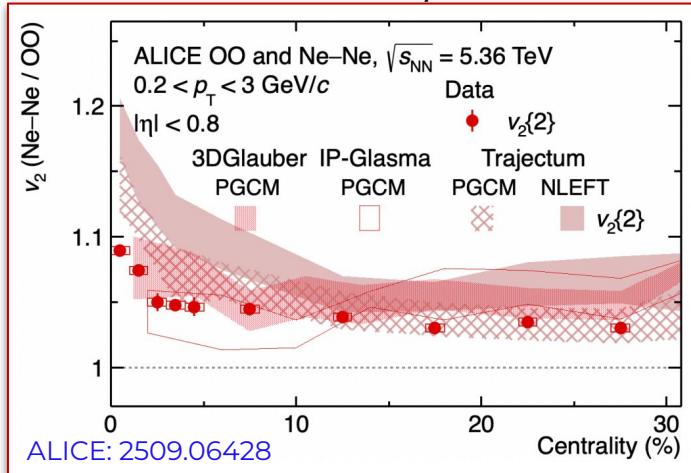
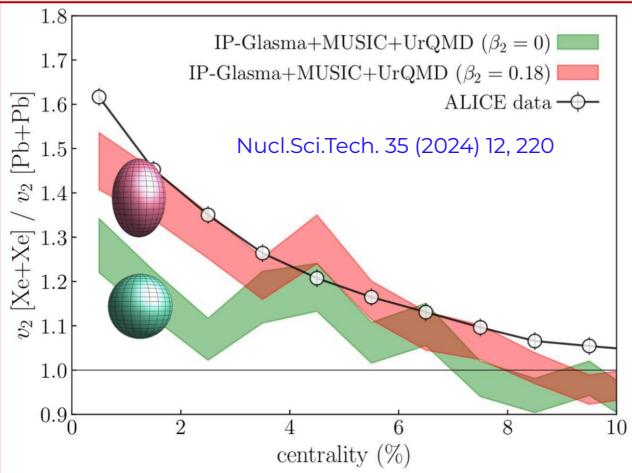
EFT + моделирование коллективных корреляций нуклонов





Потоки и форма ядер

Xe-Xe/Pb-Pb



- NLEFT и PGCM:**

Неон оказывается “кеглей”, кислород — “тетраэдром”

- Отношение v_2 в Ne-Ne и O-O:

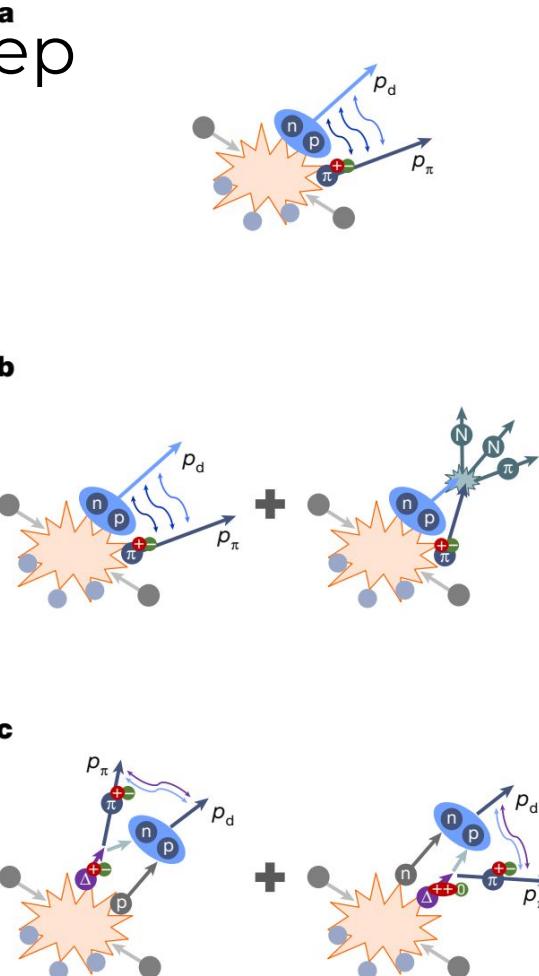
- Более выраженная анизотропия в центральных столкновениях
- Отличия в предсказаниях: разное описание динамики системы до термализации

- Ценная информация для описания начального состояния

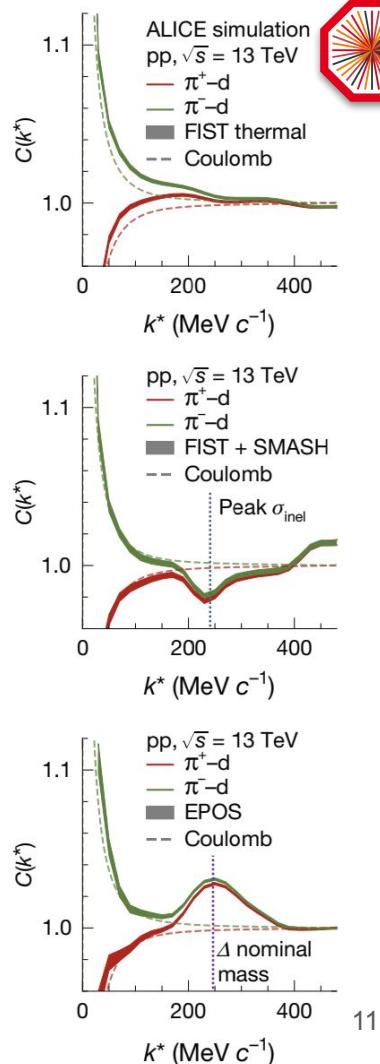
Формирование легких ядер в столкновениях на БАК



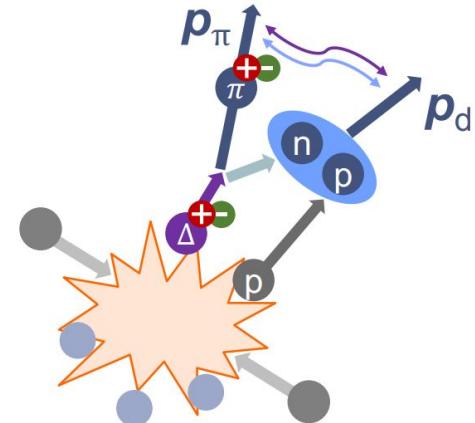
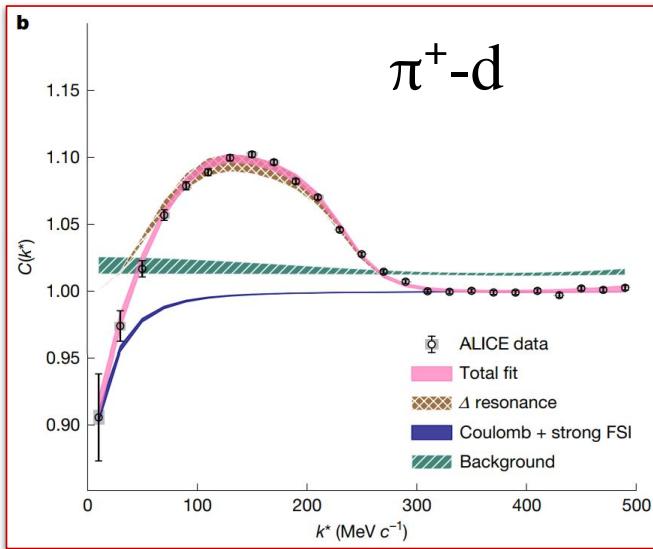
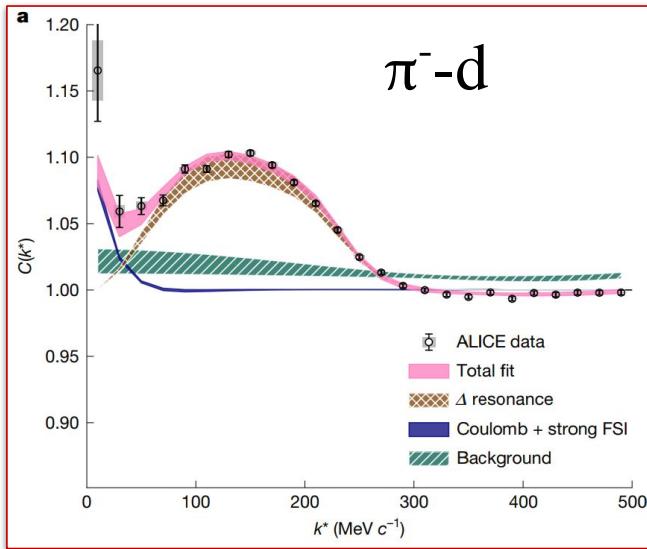
- Температура материи в столкновениях **~100 МэВ**
- Энергия связи дейтрана **2.23 МэВ**
— как он выживает?
- Ядра дейтрана могут формироваться в результате **слияния частиц, рождающихся в столкновении**
- Сценарии рождения дейтрана могут быть проверены **фемтоскопическими измерениями**



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



Механизм формирования легких ядер

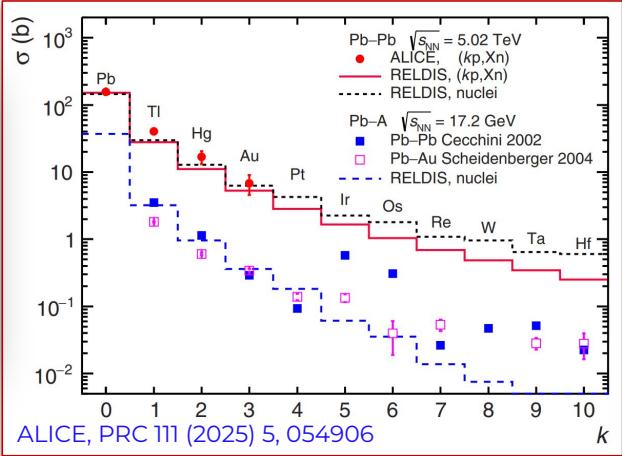
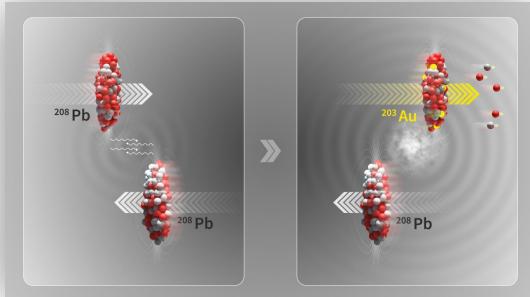


ALICE, Nature 648 (2025) 8093, 306-311

Измерения корреляций π -d:

- Модельно-независимое свидетельство: **дейtron образуется при слиянии нейтрона из распада короткоживущего резонанса и протона**
- На **$\Delta(1232)$** приходится ~77% дейtronов, 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 нейtronов** 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



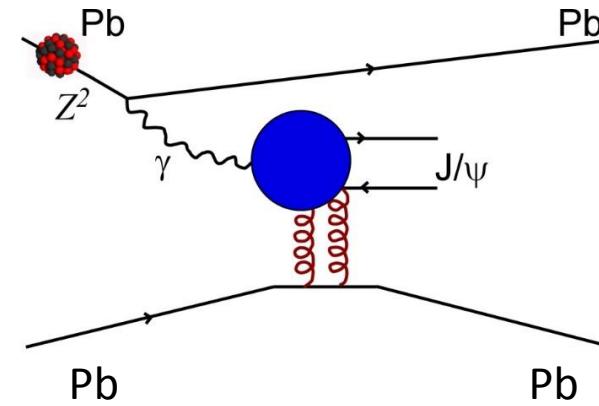
“...collisions at the LHC created 86 billion gold nuclei — around 29 trillionths of a gram...”

Задачи группы ПИЯФ в 2025 году

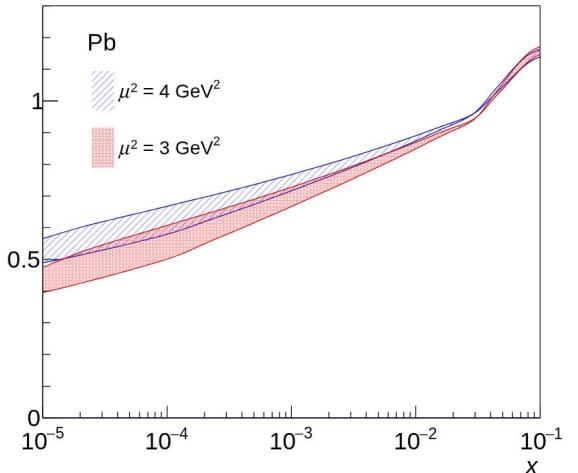


- Разработка и поддержка централизованной системы **отбора событий для Run 3**
- Система мониторинга и расчета **интегральной светимости**
- **Обработка данных по рождению дилептонов и векторных мезонов** в Pb-Pb УПС
- Проведение соответствующих **теоретических расчетов**

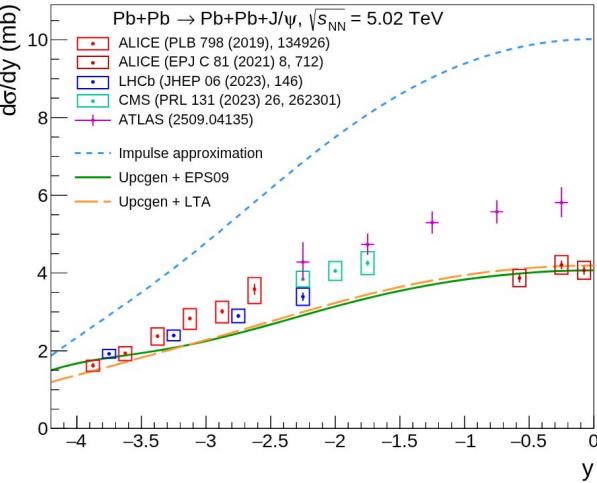
Теоретические расчеты сечений фоторождения



Глюонные экранировки
в приближении
лидирующих твистов (LTA)

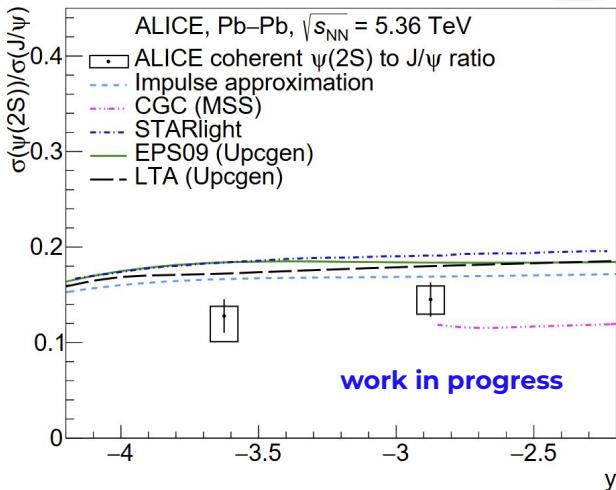
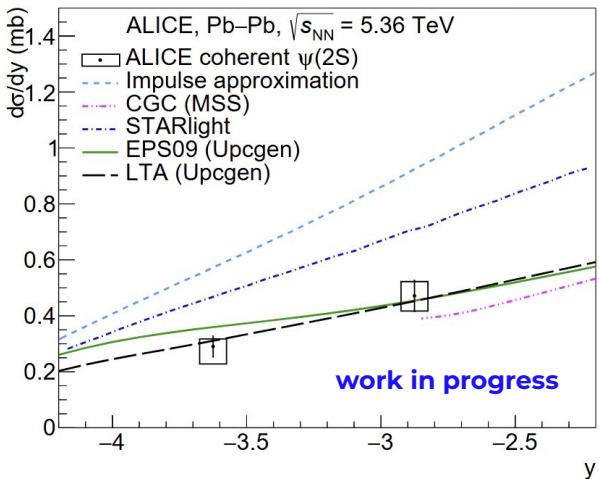
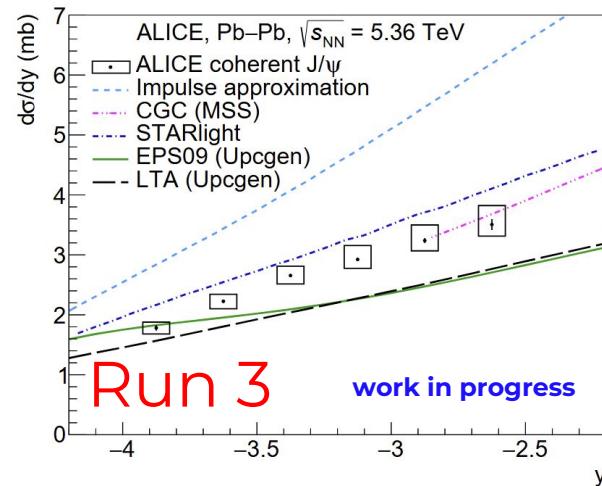


Предсказания Ursgen и
данные по когерентному
рождению J/ψ при 5.02 ТэВ



- **Ursgen:** 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 Ursgen** используются для сравнения с данными ALICE по J/ψ и $\psi(2S)$ в Run 3

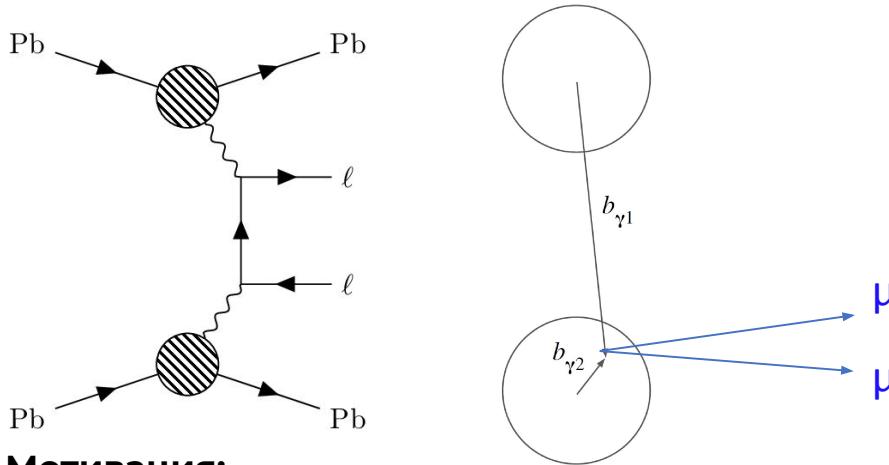
Сечения когерентного фоторождения J/ψ и $\psi(2S)$



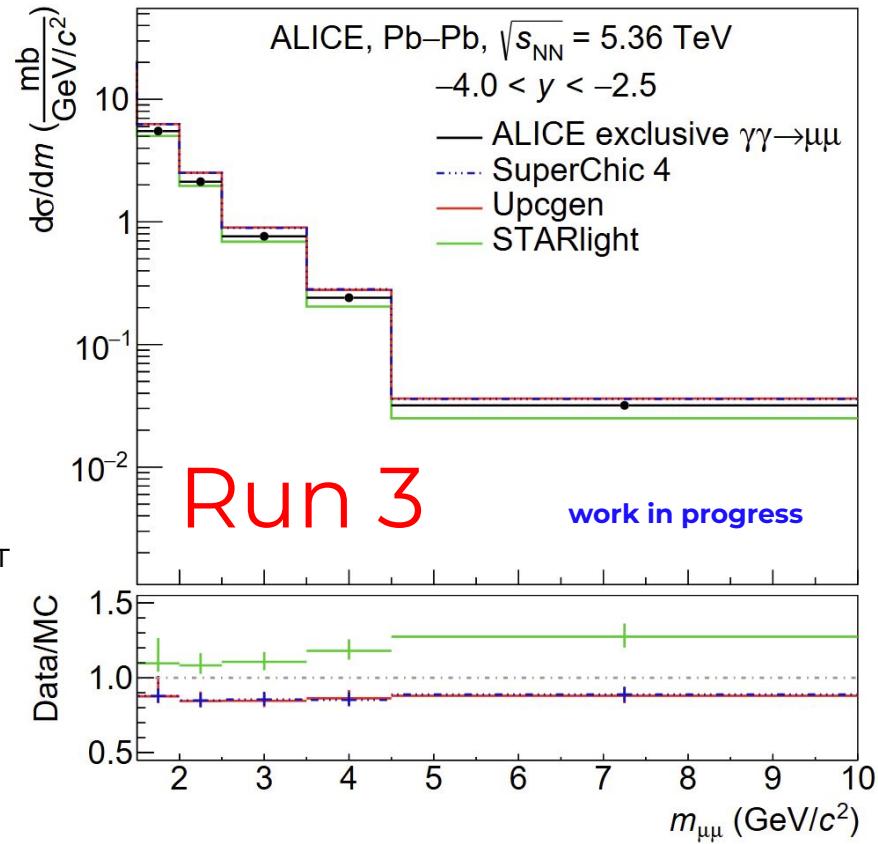
- Мотивация: сечение когерентного фоторождения чувствительно к эффектам экранировок
- Первое измерение УПС в Run 3, первое измерение на мюонном спектрометре в Run 3
- $\psi(2S)$ в передней области быстрых: хорошее согласие с EPS09 и LTA (**Upcgen**)
- Результаты по J/ψ выше предсказаний EPS09 и LTA (**Upcgen**)
- 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 и публикации по ALICE



Доклады

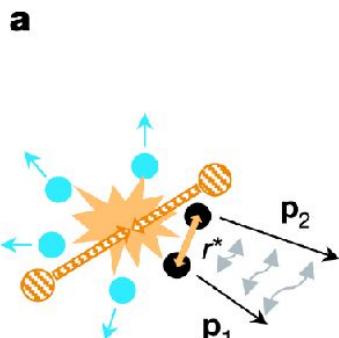
- Е. Крышень, Overview of ALICE results on ultra-peripheral collisions. XXXVII International workshop on High Energy Physics, Протвино, 23 июля 2025
- Н. Бурмасов, Overview of recent results from the ALICE experiment, QFTHEP-270, Москва, 3 июля 2025
- Н. Бурмасов, Upcgen: an event generator for two-photon 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

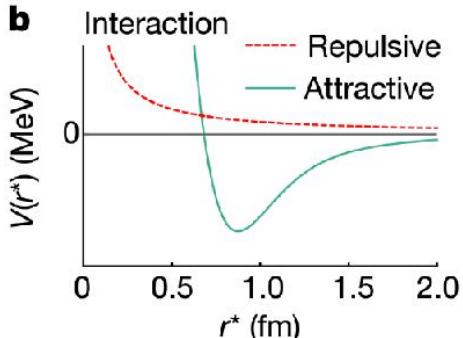
- 69 коллаборационных публикаций, из них группа ПИЯФ принимала участие в:
 - First polarisation measurement of coherently photoproduced J/ψ in ultra-peripheral Pb–Pb collisions at $\sqrt{s}_{\text{NN}} = 5.02 \text{ TeV}$, PLB 865 (2025) 139466
 - Proton emission in ultraperipheral Pb–Pb collisions at $\sqrt{s}_{\text{NN}} = 5.02 \text{ TeV}$, 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!



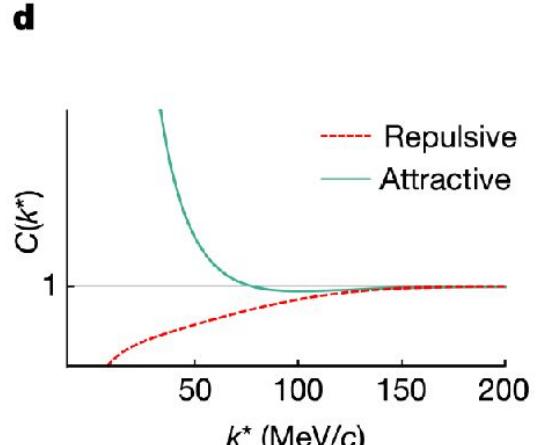
Emission source $S(r^*)$



Schrödinger equation

Two-particle wavefunction

$$|\psi(\mathbf{k}^*, \mathbf{r}^*)|$$



Correlation function

c

$$C(k^*) = \int S(r^*) |\psi(\mathbf{k}^*, \mathbf{r}^*)|^2 d^3 r^* = \xi(k^*) \frac{N_{\text{same}}(k^*)}{N_{\text{mixed}}(k^*)}$$

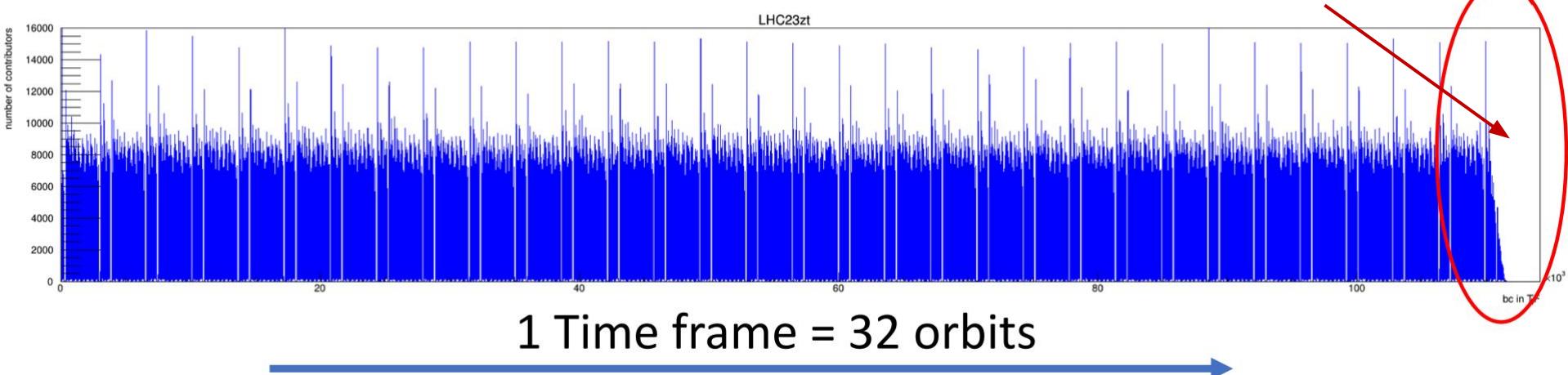
Централизованная система отбора событий



- 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:

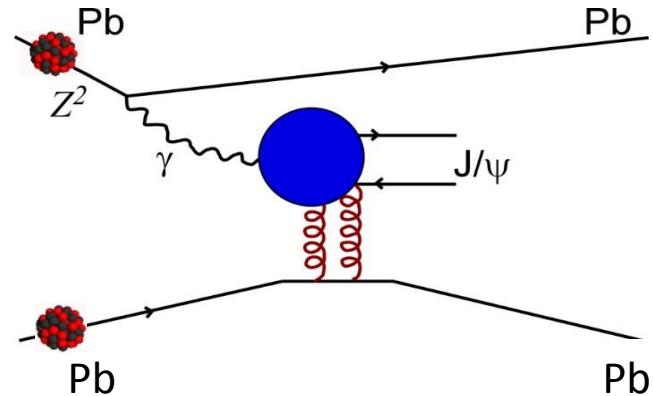
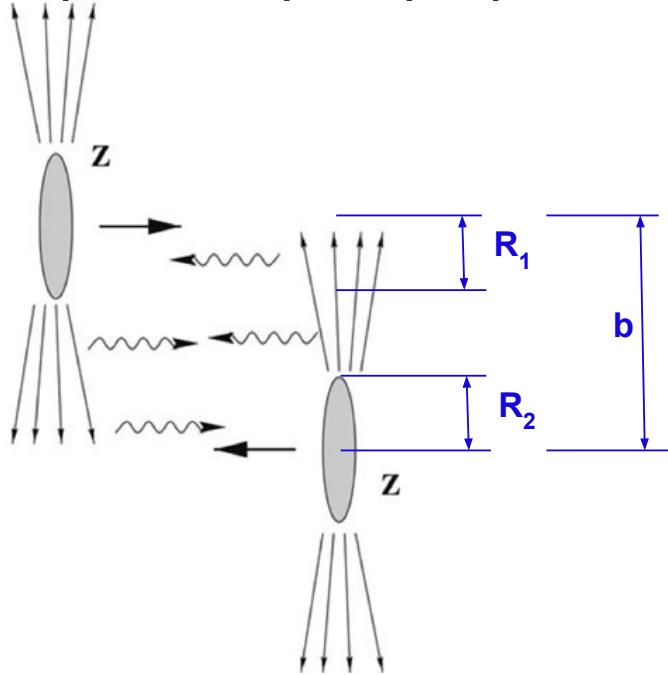
<https://evsel-qa.web.cern.ch/data>

Снижение эффективности реконструкции в
TPC 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 Ursgen

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

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

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

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

↑
Интеграл квадрата форм-фактора

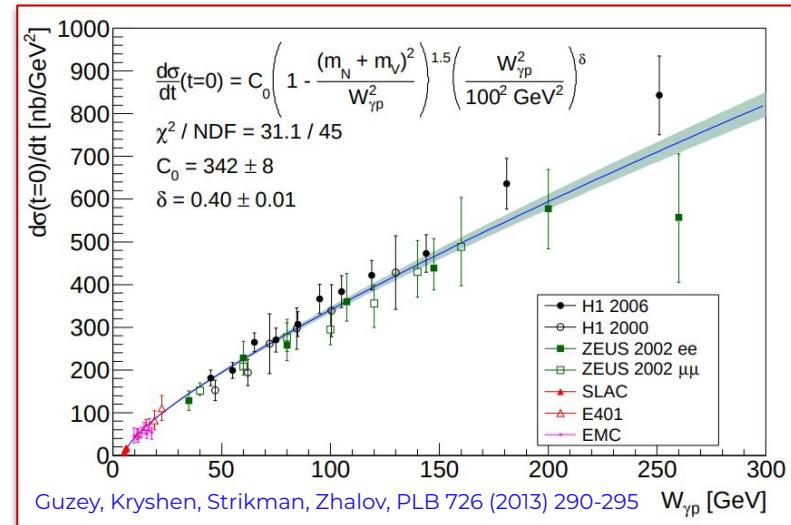
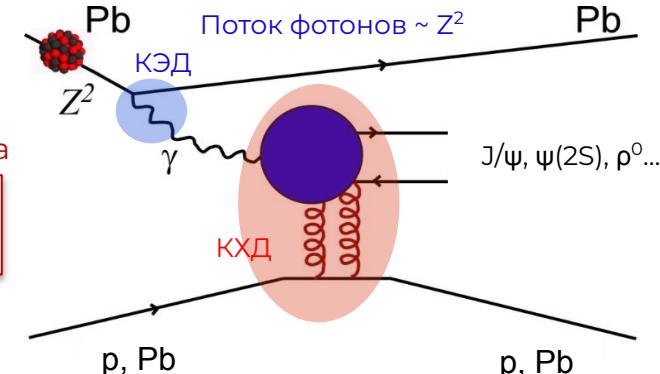
Фоторождение на протоне

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

Глюонная плотность в
протоне

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

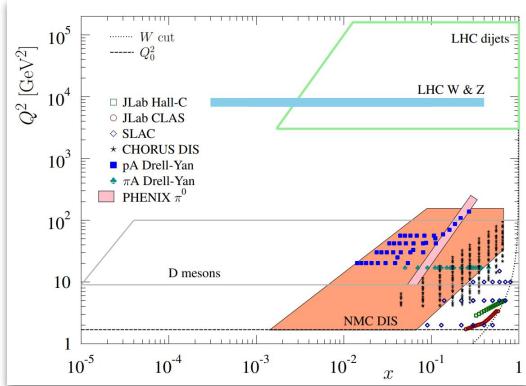
Параметризация



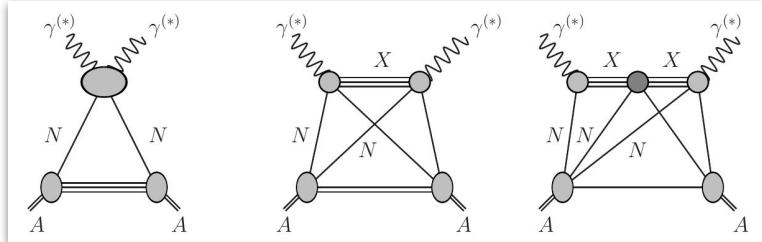
Глюонные экранировки

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

Eskola et al., EPJC 82 (2022) 413

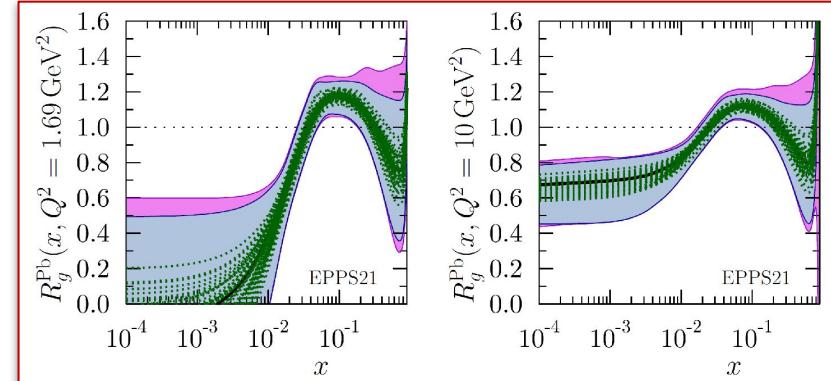


Аппроксимация данных по процессу
Дрелла-Яна и глубоко неупругому
рассеянию (EPS09)

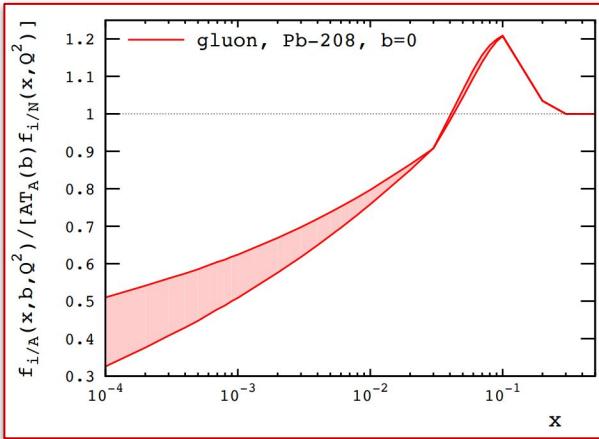


Приближение лидирующих твистов (LTA)
→ Формализм Глаубера-Грибова

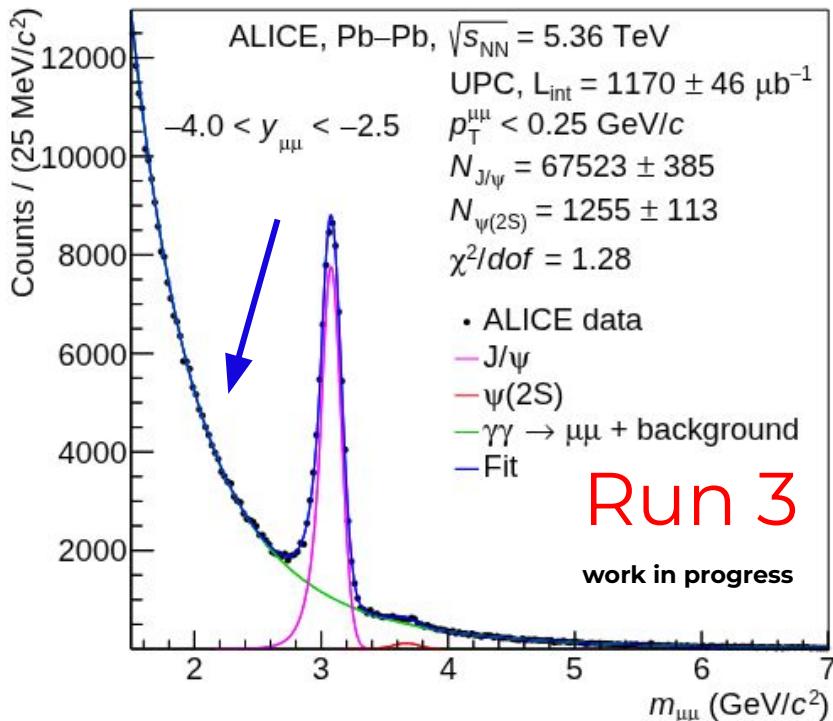
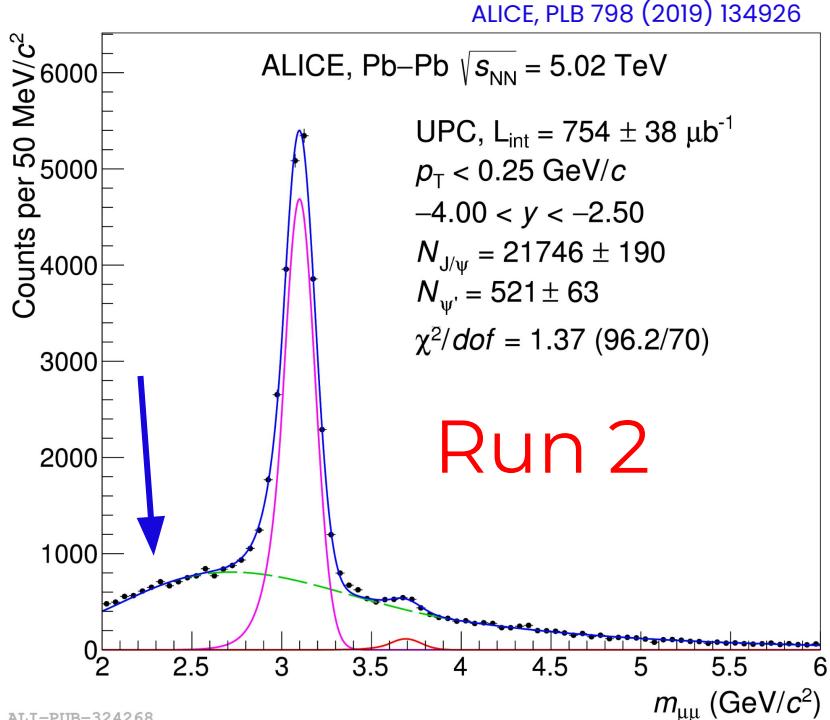
→ перерассеяние на нуклонах + учет дифракционных состояний



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

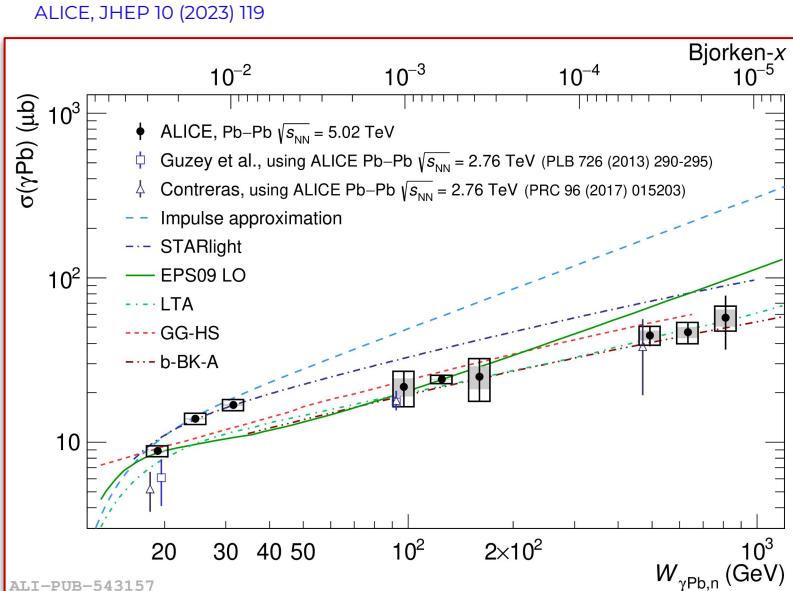
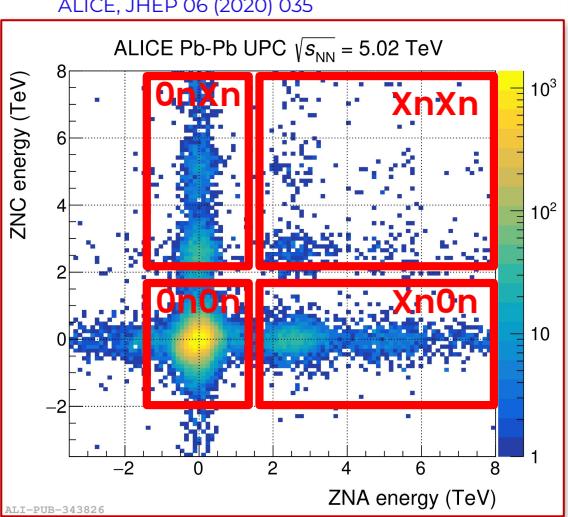
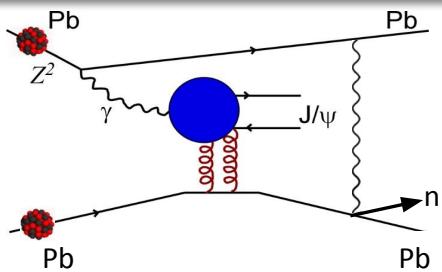
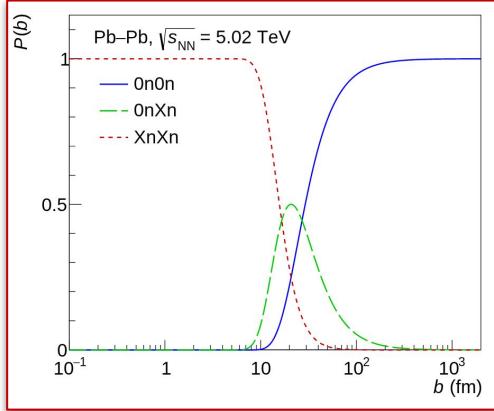


Ультра-периферические столкновения в Run 3



- 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



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

Сечение

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

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

Искомое фотоядерное сечение 26

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

