



ALICE



Рождение ϕ и K^{*0} мезонов в эксперименте ALICE на LHC

Малаев Михаил, ЛРЯФ ОФВБ

Содержание

- **Мотивация**
- **Эксперимент ALICE**
- **Восстановление резонансов в эксперименте ALICE**
- **Результаты**
- **Основные выводы**

Мотивация: Введение

- Взаимодействия тяжелых ионов используются для изучения свойств сильновзаимодействующей материи в условиях высоких температур и/или плотностей
- Расчеты КХД на решетке предсказывают фазовый переход ядерной материи в состояние со свободными кварками и глюонами (КГП – кварк-глюонная плазма) при температуре $\sim 150\text{-}200$ МэВ

Мотивация: Введение

- Взаимодействия тяжелых ионов используются для изучения свойств сильновзаимодействующей материи в условиях высоких температур и/или плотностей
- Расчеты КХД на решетке предсказывают фазовый переход ядерной материи в состояние со свободными кварками и глюонами (КГП – кварк-глюонная плазма) при температуре $\sim 150\text{-}200$ МэВ

В 2005 году (QM2005) все коллаборации, работающие на RHIC, сделали заявление об открытии КГП на основе экспериментального наблюдения:

- Эффекта гашения струй
- Азимутальной анизотропии (потока) для адронов
- «Барионной загадки»
- Избыточного выхода мягких прямых фотонов

Мотивация: Введение

- Взаимодействия тяжелых ионов используются для изучения свойств сильновзаимодействующей материи в условиях высоких температур и/или плотностей
- Расчеты КХД на решетке предсказывают фазовый переход ядерной материи в состояние со свободными кварками и глюонами (КГП – кварк-глюонная плазма) при температуре $\sim 150\text{-}200$ МэВ

В 2005 году (QM2005) все коллаборации, работающие на RHIC, сделали заявление об открытии КГП на основе экспериментального наблюдения:

- Эффекта гашения струй
- Азимутальной анизотропии (потока) для адронов
- «Барионной загадки»
- Избыточного выхода мягких прямых фотонов

- В 2009 г. начал свою работу коллайдер LHC. Результаты, полученные на LHC, подтвердили все открытия, сделанные на RHIC
- В настоящее время эксперименты на коллайдерах RHIC и LHC направлены на более детальное понимание свойств образующегося состояния (КГП), более точную интерпретацию ранее полученных результатов

Мотивация: короткоживущие резонансы

Группа сотрудников ЛРЯФ входит в состав рабочей группы, занимающейся изучением свойств резонансов в различных сталкивающихся системах на LHC:

- ✓ pp при энергии $\sqrt{s} = 2.76$ ТэВ
- ✓ pp при энергии $\sqrt{s} = 7$ ТэВ
- ✓ pPb при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ ТэВ
- ✓ PbPb при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ ТэВ

Короткоживущие резонансы несут информацию о различных аспектах ядерных столкновений

- Свойства горячей и плотной ядерной материи → изменения в массах/ширинах резонансов
- Перерассеивание и регенерация в адронном газе → изменения в выходах, формах p_T спектров
- Гашение струй → подавление выходов при больших p_T в центральных столкновениях тяжелых ядер
- Барионная аномалия
- Увеличения выхода странности
- И т.д.....

Мотивация: p-p, p-Pb

- Проверка пКХД и имеющихся на данный момент параметризации функций фрагментации. Генераторы событий – Pythia, Phojet,
- Референсные результаты для сравнения со столкновениями тяжелых ионов. Факторы ядерной модификации
- Эффекты холодной ядерной материи. Модификации функции распределения партонов в нуклонах, связанных в ядре; мягкое многократное перерассеивание партонов; энергетические потери партонов и т.д.

Мотивация: Pb-Pb

Подавление выходов адронов при больших значениях поперечного импульса (p_T)

Мотивация: Pb-Pb

Подавление выходов адронов при больших значениях поперечного импульса (p_T)

- Энергетические потери жестких партонов при прохождении через цветозаряженную среду \rightarrow смягчение спектров рождения адронов \rightarrow подавление выходов адронов при больших p_T (гашение струй)

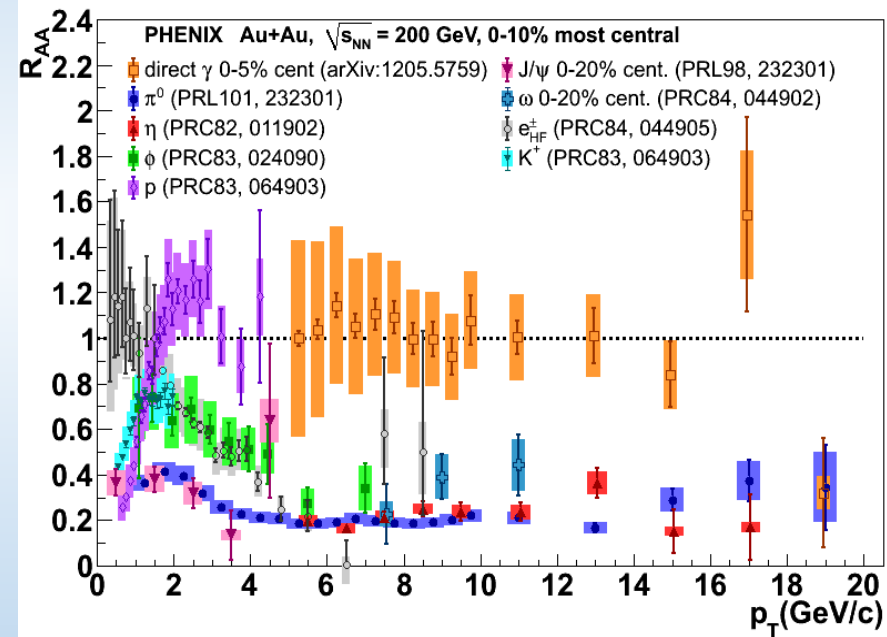
$$R_{AB} = \frac{dN_{AB}^p}{\langle T_{AB} \rangle \times d\sigma_{NN}^p}$$

Мотивация: Pb-Pb

Подавление выходов адронов при больших значениях поперечного импульса (p_T)

- Энергетические потери жестких партонов при прохождении через цветозаряженную среду \rightarrow смягчение спектров рождения адронов \rightarrow подавление выходов адронов при больших p_T (гашение струй)
- Впервые обнаружен на RHIC. Подтвержден на LHC
- Изучение эффекта позволяет получать сведения о свойствах образующейся среды
- RHIC&LHC: выходы адронов, содержащих легкие и тяжелые кварки подавлены одинаково \leftarrow не имеет исчерпывающего теоретического описания
- Резонансы с различными массами и кварковыми составами \rightarrow систематическое изучение эффекта гашения струй

$$R_{AB} = \frac{dN_{AB}^p}{\langle T_{AB} \rangle \times d\sigma_{NN}^p}$$



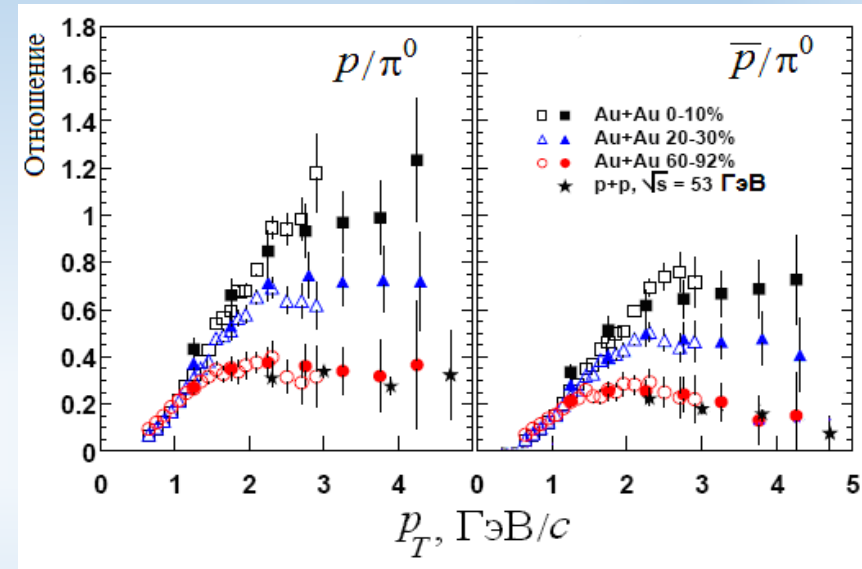
Мотивация: Pb-Pb

Барионная аномалия

Мотивация: Pb-Pb

Барионная аномалия

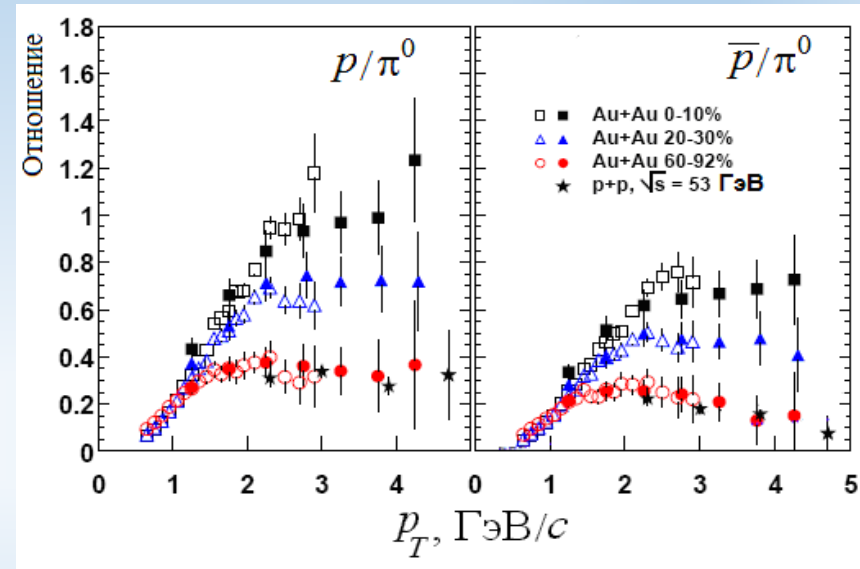
- Открытие на RHIC: повышенный выход барионов по отношению к мезонам при промежуточных значениях поперечного импульса в столкновениях тяжелых ядер
- Так же наблюдается на LHC



Мотивация: Pb-Pb

Барионная аномалия

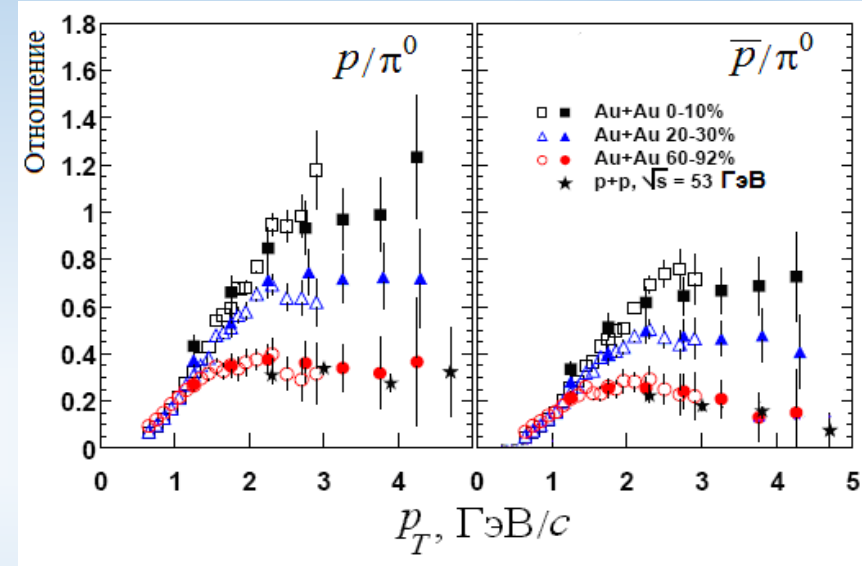
- Открытие на RHIC: повышенный выход барионов по отношению к мезонам при промежуточных значениях поперечного импульса в столкновениях тяжелых ядер
- Так же наблюдается на LHC
- Рекомбинационные модели \leftrightarrow образование теплового источника партонов \leftrightarrow КГП



Мотивация: Pb-Pb

Барионная аномалия

- Открытие на RHIC: повышенный выход барионов по отношению к мезонам при промежуточных значениях поперечного импульса в столкновениях тяжелых ядер
- Так же наблюдается на LHC
- Рекомбинационные модели ↔ образование теплового источника партонов ↔ КГП
- Изучение барионной аномалии → определение доминирующих механизмов рождения адронов в области промежуточных p_T
- Масса бариона ↔ мезон → ϕ - мезон



Мезон $\phi \rightarrow s\bar{s} \rightarrow 1022 \text{ MeV}/c^2$

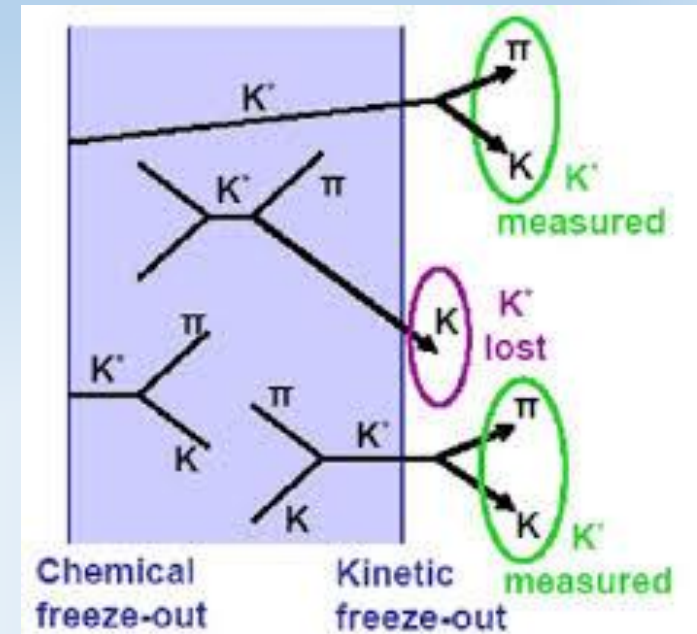
Мотивация: Pb-Pb

Адронный газ

Мотивация: Pb-Pb

Адронный газ

- Перерассеивание дочерних частиц в адронном газе → потеря резонанса
- Регенерация → повышенный выход резонансов
- Может быть использовано для вычисления времени между химической и кинетической заморозкой



increasing lifetime →

	$\rho(770)$	$K^*(892)$	$\Sigma(1385)$	$\Lambda(1520)$	$\Xi(1530)$	$\phi(1020)$
Γ (MeV)	151	47.4	36	15.6	9.1	4.27
$\sigma_{rescatt}$	$\sigma_{\pi\pi}$	$\sigma_{\pi K}$	$\sigma_{\pi\Lambda}$	$\sigma_{K\rho}$	$\sigma_{\pi\Xi}$	$\sigma_{K\phi}$
	more suppressed?	suppressed	still suppressed?	less suppressed?		not suppressed

Мотивация: Pb-Pb

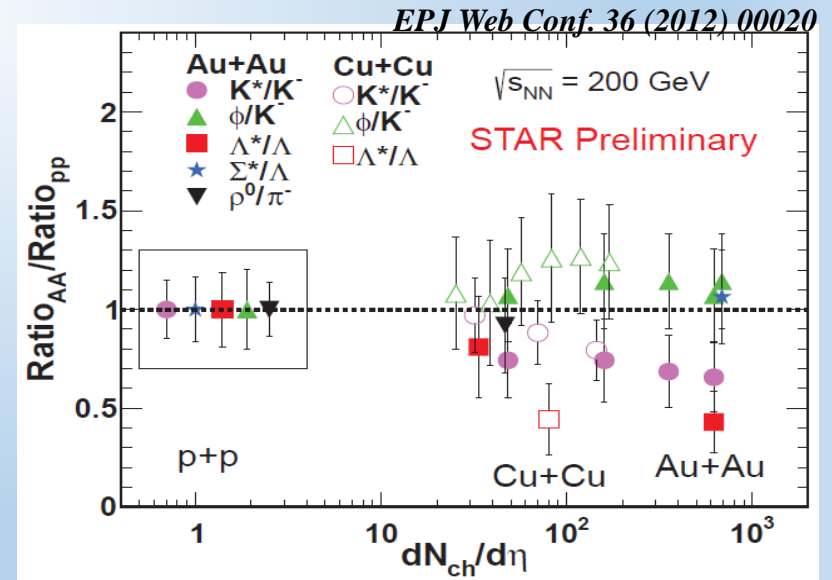
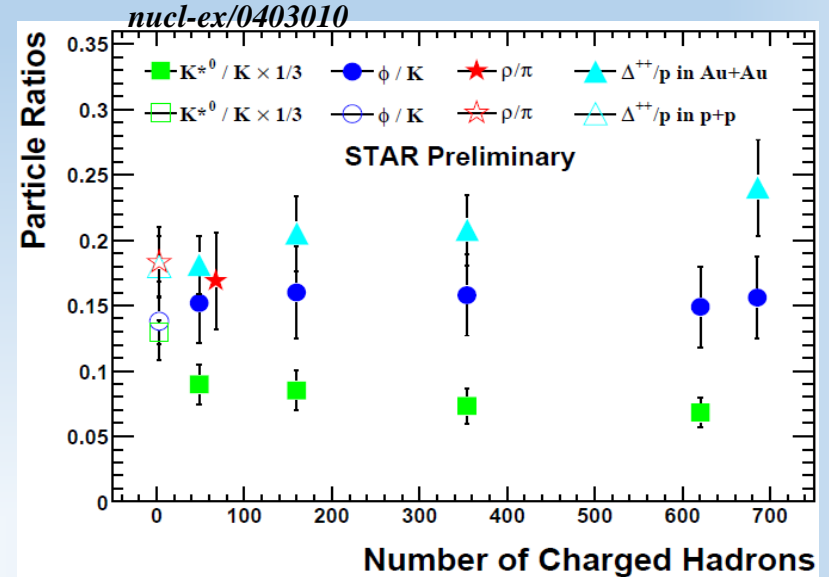
Адронный газ

- Перерассеивание дочерних частиц в адронном газе → потеря резонанса
- Регенерация → повышенный выход резонансов
- Может быть использовано для вычисления времени между химической и кинетической заморозкой
- RHIC:

Мотивация: Pb-Pb

Адронный газ

- Перерассеивание дочерних частиц в адронном газе → потеря резонанса
- Регенерация → повышенный выход резонансов
- Может быть использовано для вычисления времени между химической и кинетической заморозкой
- RHIC:
 - ✓ Подавление для $\Lambda(1520)$ и K^*
 - ✓ Нет подавления для ϕ , ρ , Σ^*
 - ✓ Превышение для Δ^{++}



Мотивация: Pb-Pb

Адронный газ

- Измерения эллиптического потока позволяют взглянуть на эффекты, связанные с адронным газом, с другой стороны

Мотивация: Pb-Pb

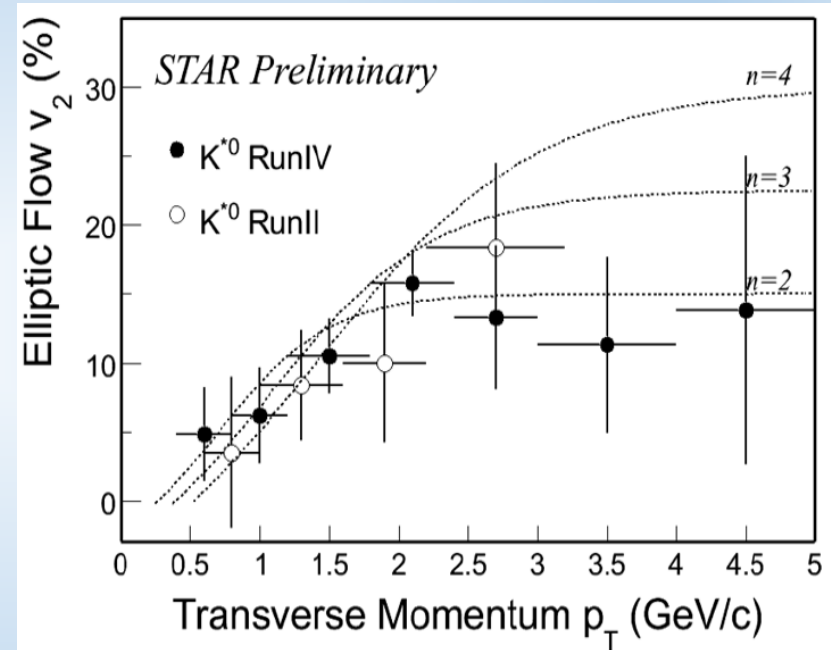
Адронный газ

- Измерения эллиптического потока позволяют взглянуть на эффекты, связанные с адронным газом, с другой стороны
- Эллиптический поток резонансов рожденных напрямую из партонов скалируется на число конститuentных кварков (n_q)
- Эллиптический поток резонансов рожденных из рекомбинации адронов скалируется на n_q рекомбинирующих адронов
- Рекомбинация должна проявляться в отклонении v_2 от n_q скейлинга пропорционально вкладу рекомбинации

Мотивация: Pb-Pb

Адронный газ

- Измерения эллиптического потока позволяют взглянуть на эффекты, связанные с адронным газом, с другой стороны
- Эллиптический поток резонансов рожденных напрямую из партонов скалируется на число конститuentных кварков (n_q)
- Эллиптический поток резонансов рожденных из рекомбинации адронов скалируется на n_q рекомбинирующих адронов
- Рекомбинация должна проявляться в отклонении v_2 от n_q скейлинга пропорционально вкладу рекомбинации
- RHIC: предварительные результаты, полученные для K^* и ρ мезонов не содержат признаков рекомбинации

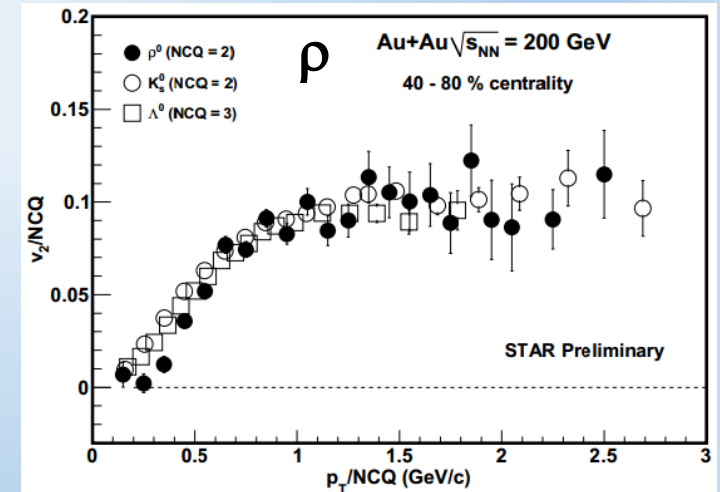
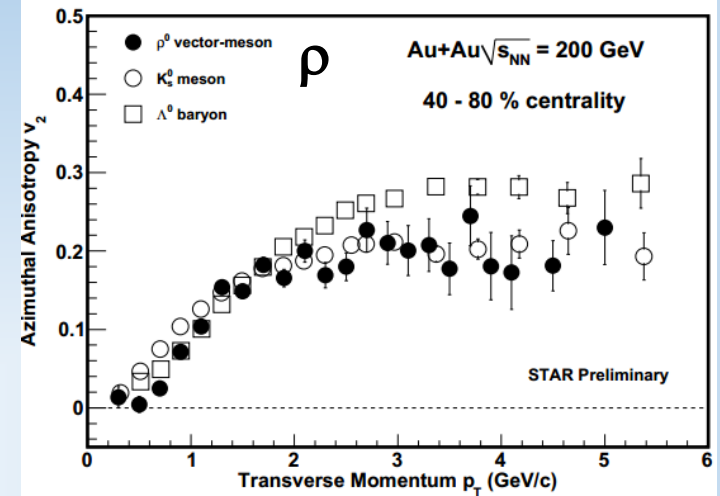


Мотивация: Pb-Pb

Адронный газ

- Измерения эллиптического потока позволяют взглянуть на эффекты, связанные с адронным газом, с другой стороны
- Эллиптический поток резонансов рожденных напрямую из партонов скалируется на число конститuentных кварков (n_q)
- Эллиптический поток резонансов рожденных из рекомбинации адронов скалируется на n_q рекомбинирующих адронов
- Рекомбинация должна проявляться в отклонении v_2 от n_q скейлинга пропорционально вкладу рекомбинации
- RHIC: предварительные результаты, полученные для K^* и ρ мезонов не содержат признаков рекомбинации

Nucl.Phys. A862-863 (2011) 297-300



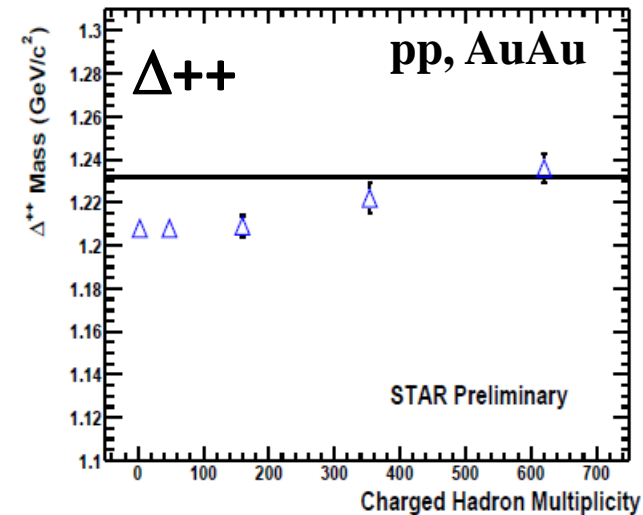
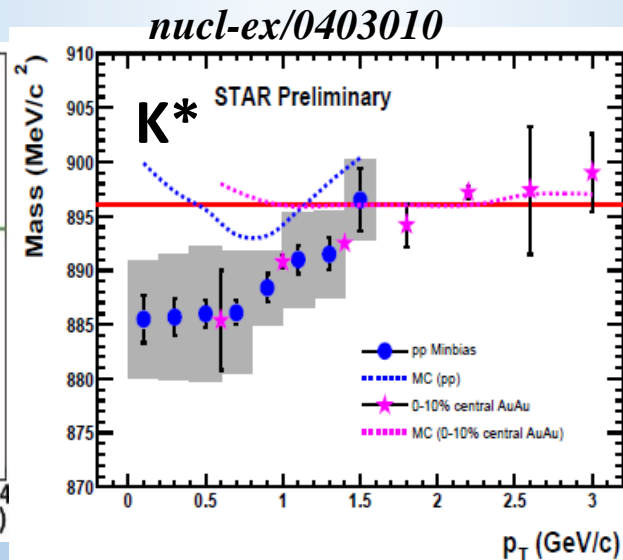
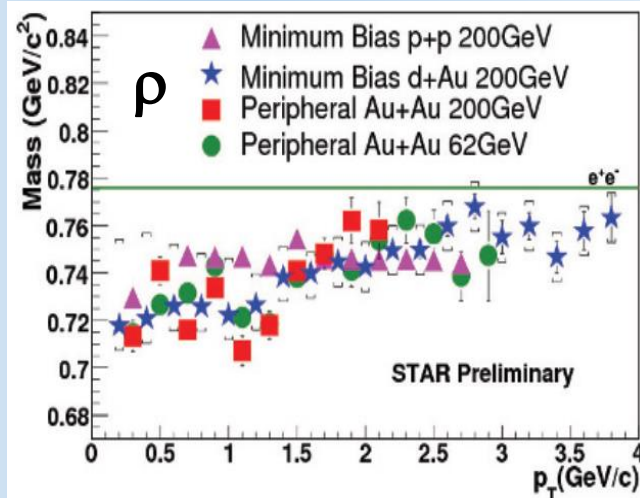
Мотивация: Pb-Pb

Изменения формы пиков

Мотивация: Pb-Pb

Изменения формы пиков

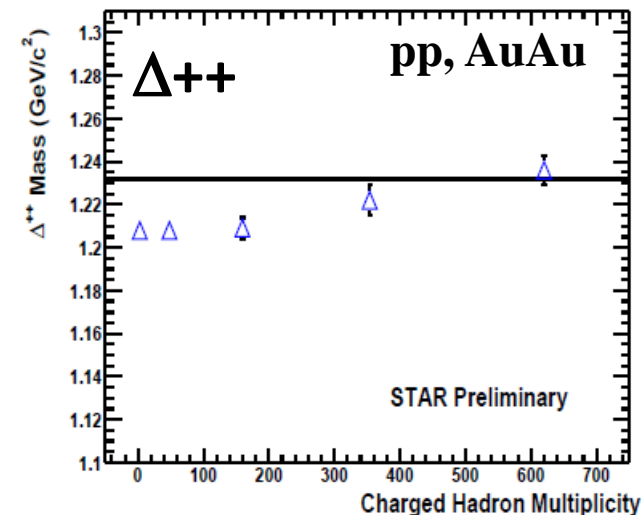
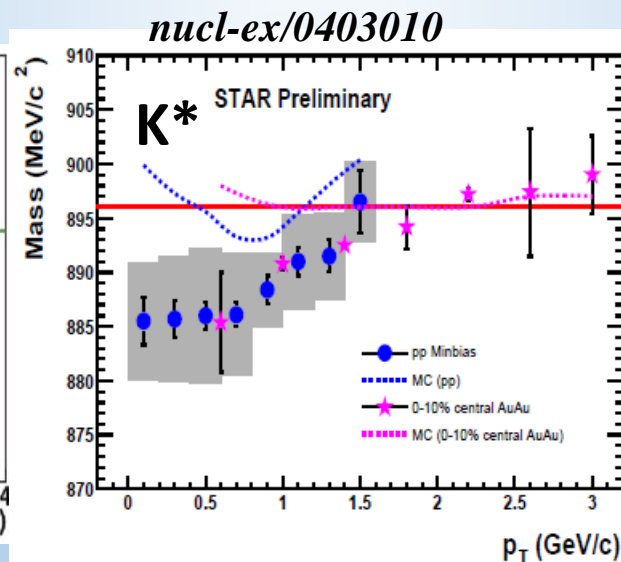
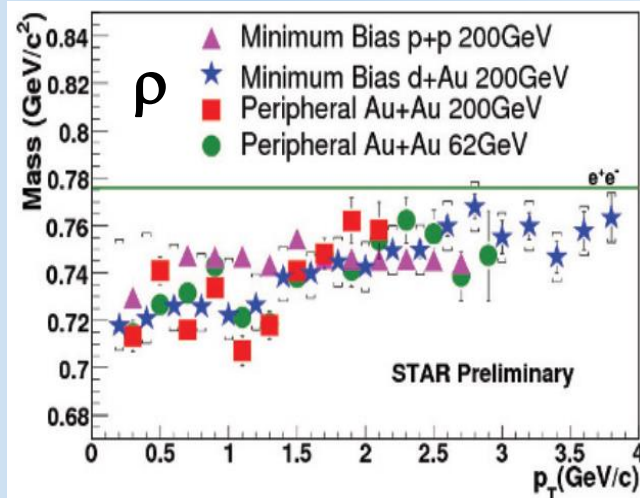
- Уменьшение значений восстановленных масс K^* , ρ , ϕ , Δ^{++} в pp и центральных AA взаимодействиях при малых значениях p_T на RHIC



Мотивация: Pb-Pb

Изменения формы пиков

- Уменьшение значений восстановленных масс K^* , ρ , ϕ , Δ^{++} в pp и центральных AA взаимодействиях при малых значениях p_T на RHIC
- Изменения масс/ширин резонансов может происходить как в партонной и ранней адронной фазе (восстановление киральной симметрии), так и в результате перерассеиваний в поздней адронной фазе
- Изучение резонансов из струй должно позволить разделить эти эффекты (см. далее)



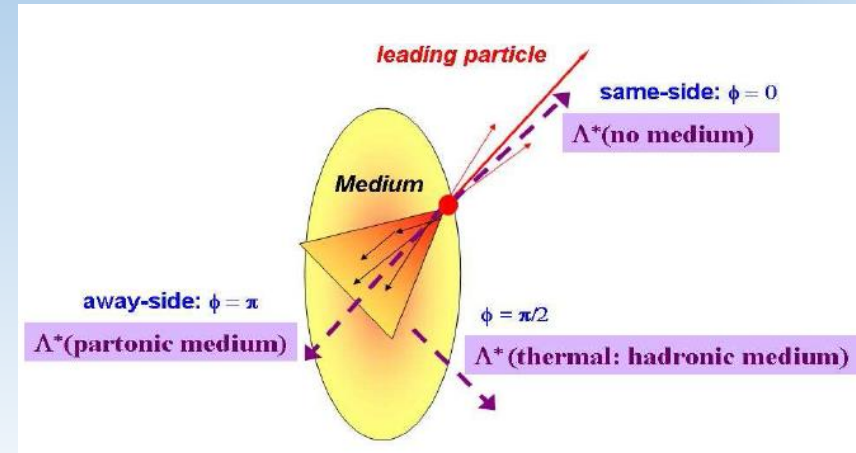
Мотивация: Pb-Pb

Резонансы из струй

Мотивация: Pb-Pb

Резонансы из струй

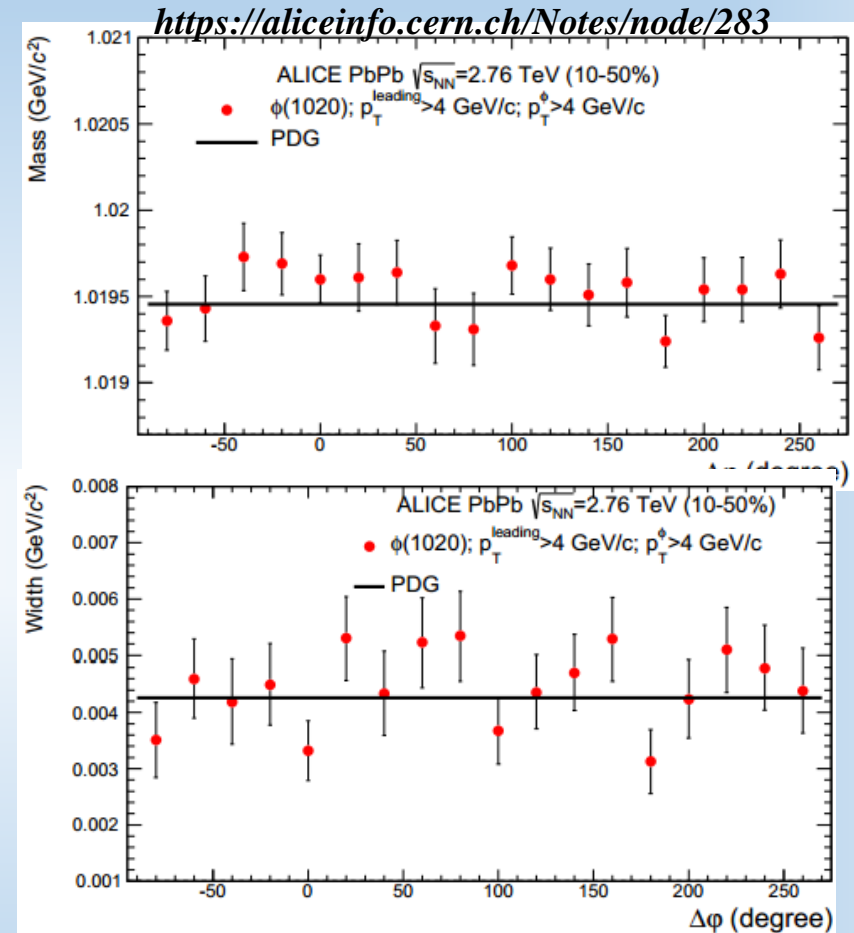
- Резонансы, вылетающие при больших p_T вместе с обратной струей, не испытывают взаимодействия с поздней адронной фазой и могут быть использованы для изучения воздействия партонной или ранней адронной среды на массы/ширины/выходы резонансов



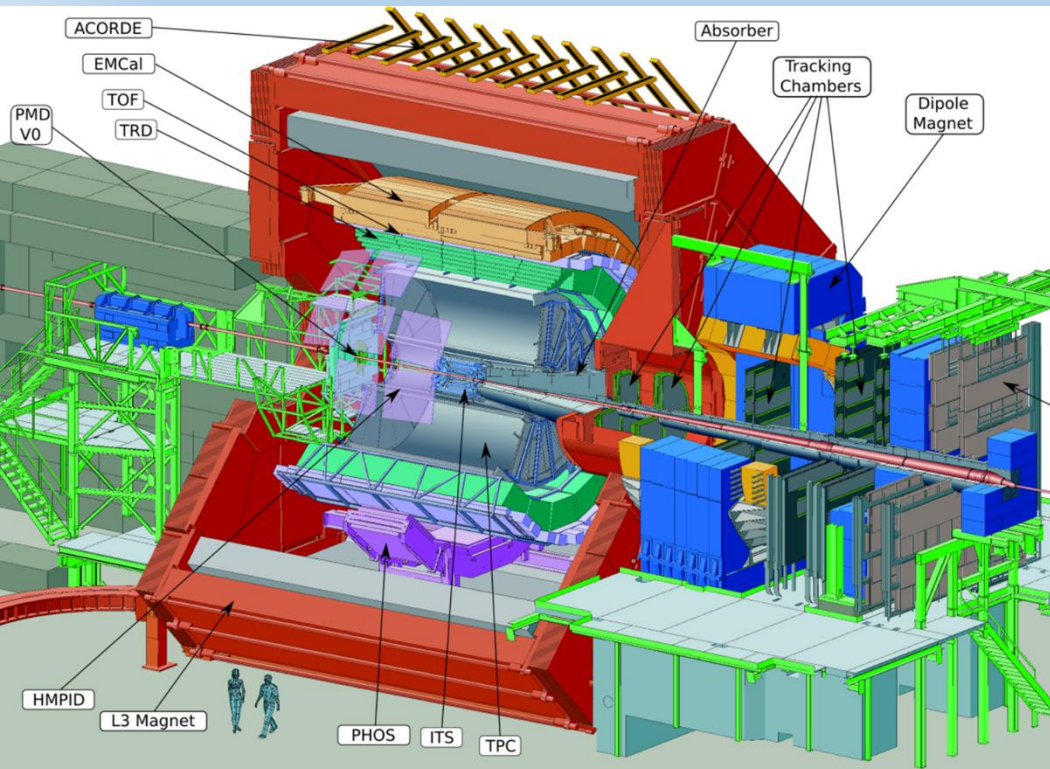
Мотивация: Pb-Pb

Резонансы из струй

- Резонансы, вылетающие при больших p_T вместе с обратной струей, не испытывают взаимодействия с поздней адронной фазой и могут быть использованы для изучения воздействия партонной или ранней адронной среды на массы/ширины/выходы резонансов
- На данный момент при анализе ϕ мезонов ни на RHIC ни на LHC не обнаружено никаких отклонений в пределах ошибок. Демонстрация технологии
- Для других резонансов необходимо значительно больше статистики



Эксперимент ALICE

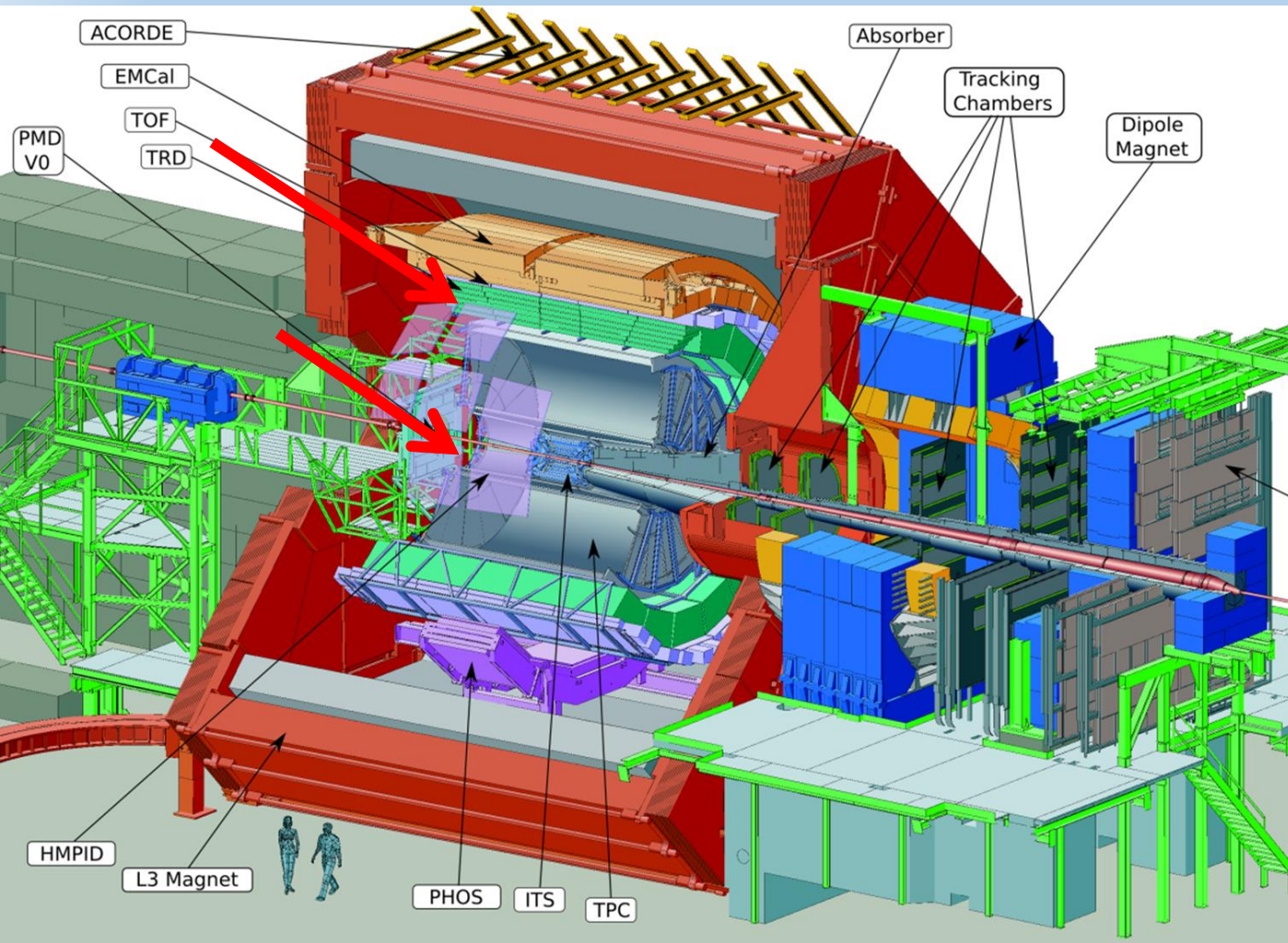


- Один из 4 больших экспериментов на LHC
- 37 стран
- 151 институт
- 1550 участников

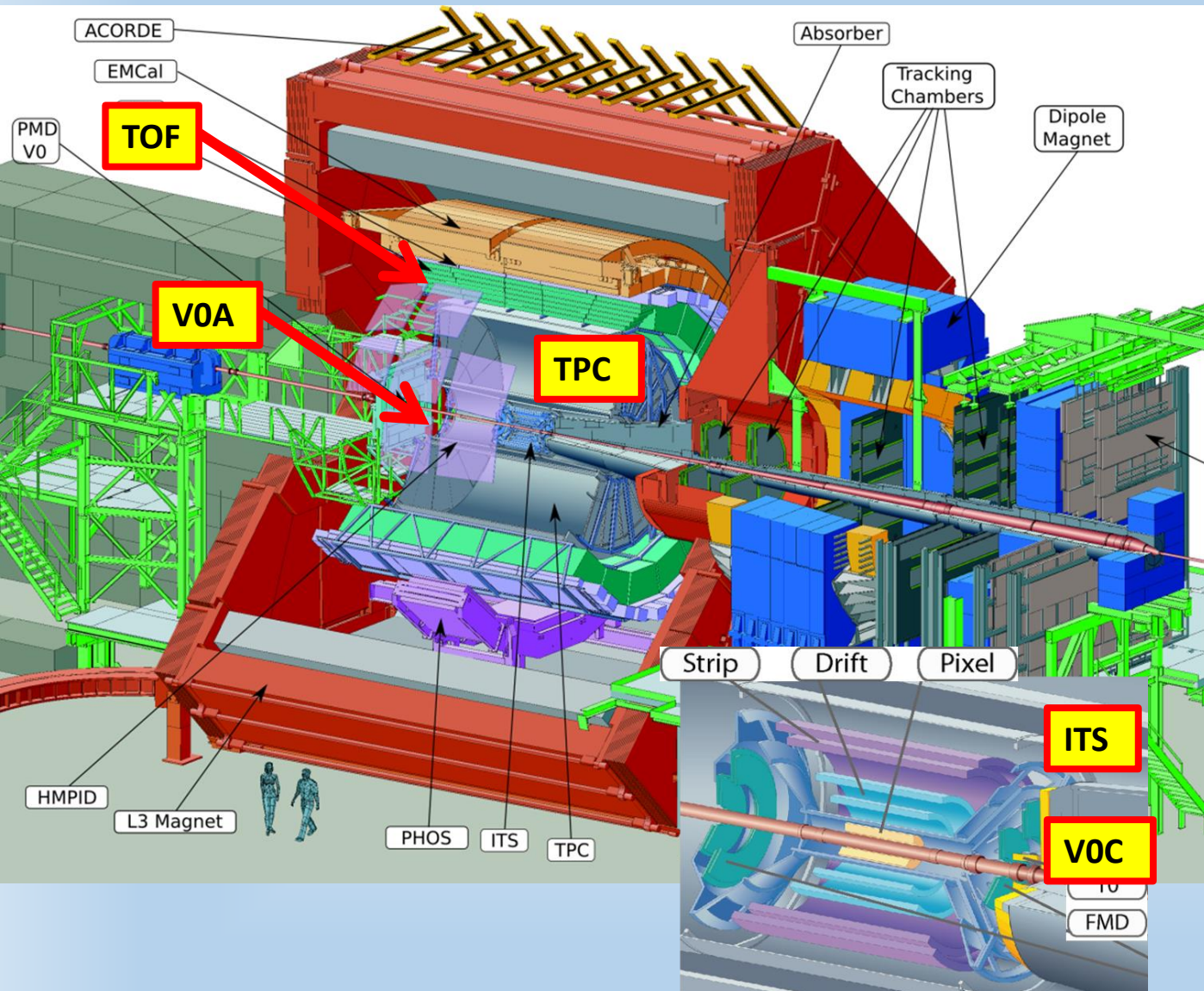
ПИАФ в эксперименте ALICE

- ЛРЯФ – 14 участников коллаборации ALICE
- Экспертное сопровождение
- Участие в сменах
- Анализ данных
- Участие в программе обновления экспериментальной установки

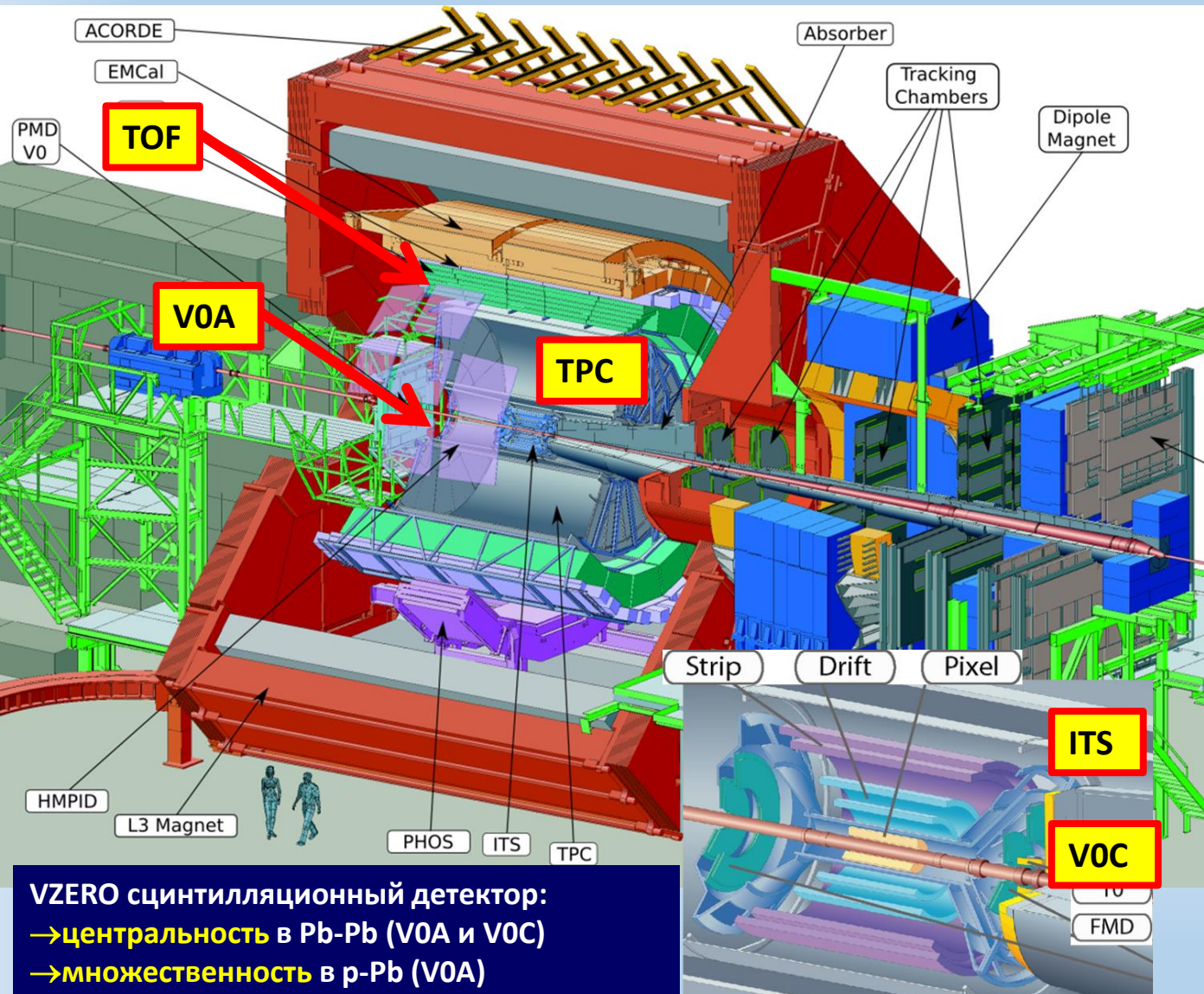
Эксперимент ALICE



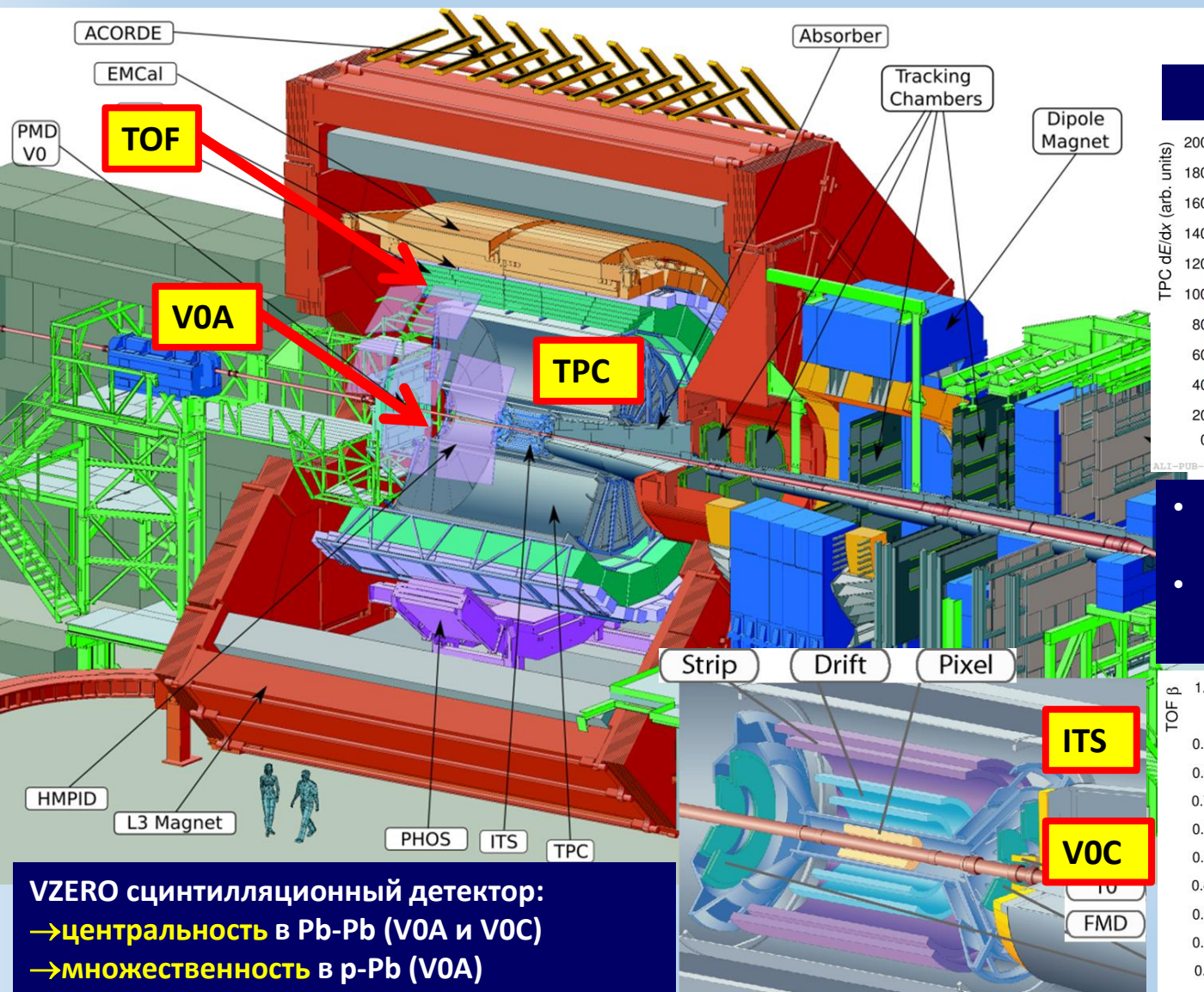
Эксперимент ALICE



Эксперимент ALICE

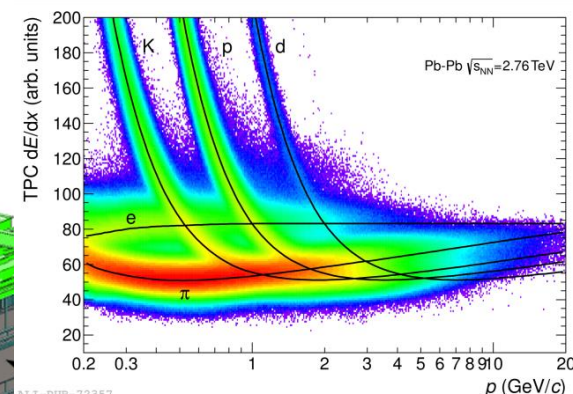


Эксперимент ALICE

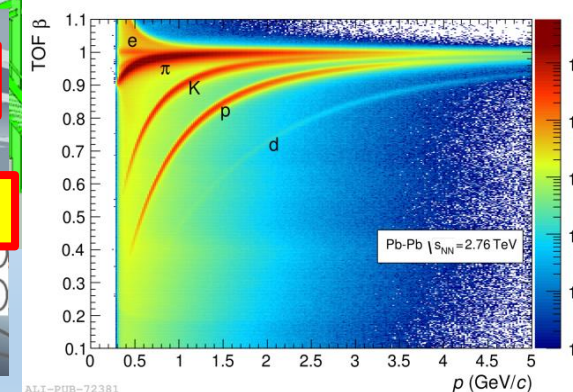


arXiv:1402.4476

Идентификация частиц:



- dE/dx в газе (Time Projection Chamber)
- По времени пролета и импульсу (Time-Of-Flight)



VZERO сцинтиляционный детектор:
 → **центральность** в Pb-Pb (V0A и V0C)
 → **множественность** в p-Pb (V0A)

Восстановление резонансов

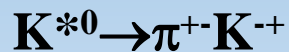
Статус

- Результаты по ϕ и K^* -мезонам в наиболее финальной стадии
- Ведется работа по ρ , Λ^* , Δ^{++} и т.д. ← пока что не для публичного представления

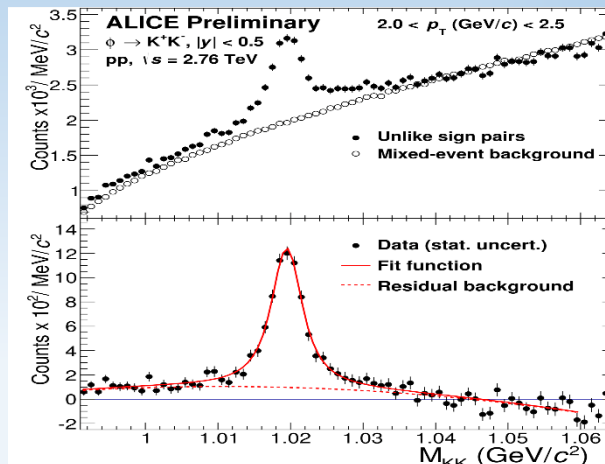
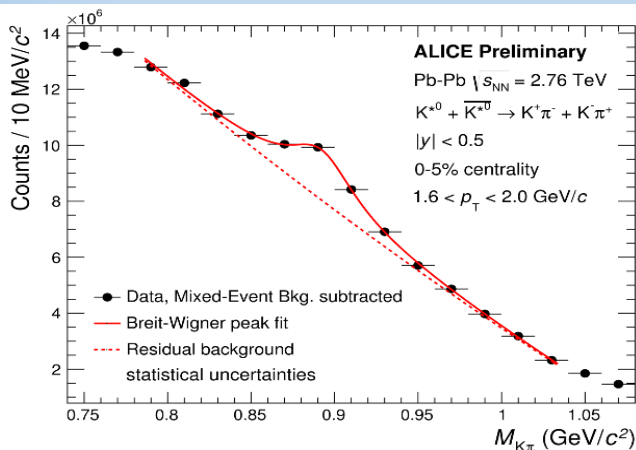
Техника восстановления инвариантных спектров

- Отбор событий для анализа
 - ✓ Наличие столкновения
 - ✓ Наложение событий (pile-up)
 - ✓ Восстановленная вершина
- Отбор треков для анализа
 - ✓ Выбор и оптимизация критериев отбора треков
 - ✓ Идентификация частиц
- Построение распределений инвариантных масс пар противоположно заряженных треков
- Подавление комбинаторного фона методом смешивания событий с близкой топологией по центральности и координатам вершины взаимодействия
- Аппроксимация распределений инвариантных масс пар противоположно заряженных треков для каждого исследуемого промежутка по p_T
- Определение эффективности реконструкции методом Монте-Карло
- Получение инвариантных дифференциальных спектров с учетом всех поправок
- Оценка систематических погрешностей измерений

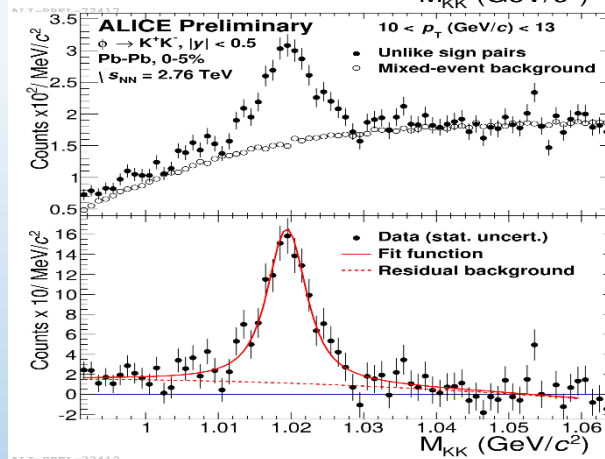
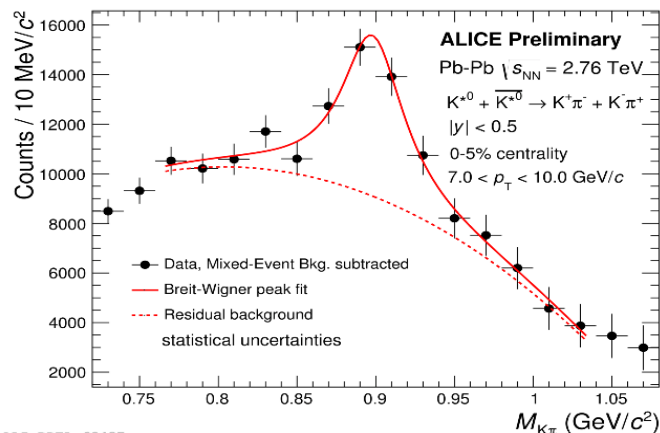
Восстановление резонансов



Малые p_T



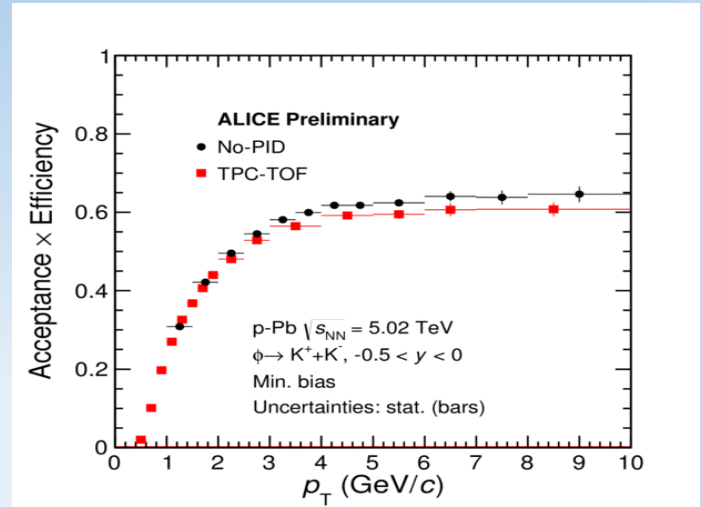
Большие p_T



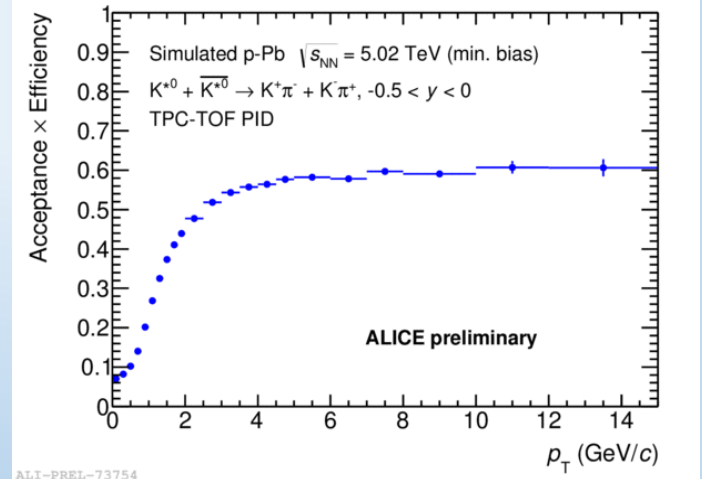
Массы и ширины резонансов, полученные при аппроксимации, соответствуют PDG значениям

Восстановление резонансов

- Эффективность восстановления для K^* и ϕ -мезонов повышается с ростом p_T . Начиная с 5-6 ГэВ/с переходит в режим насыщения
- Измерения ограничены: снизу – быстро уменьшающимся аксептансом, сверху – доступной статистикой



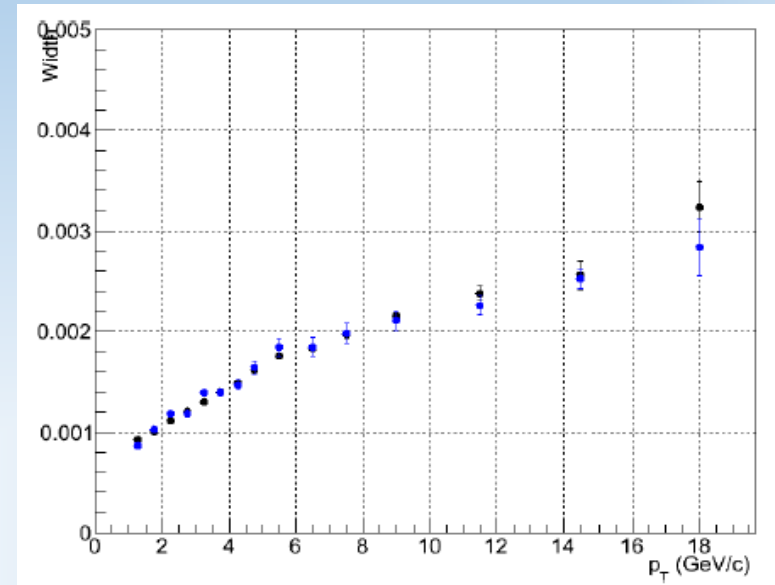
ALI-PREL-71225



ALI-PREL-73754

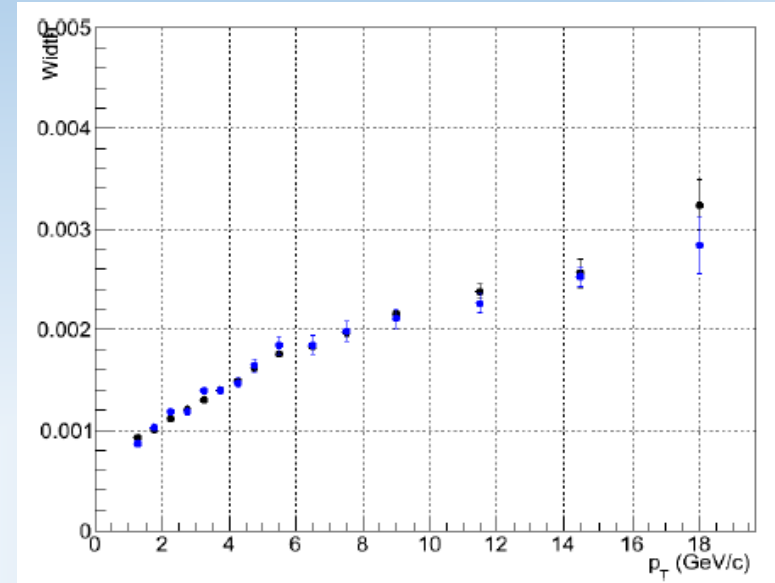
Восстановление резонансов

- Эффективность восстановления для K^* и ϕ -мезонов повышается с ростом p_T . Начиная с 5-6 ГэВ/с переходит в режим насыщения
- Измерения ограничены: снизу – быстро уменьшающимся акцептансом, сверху – доступной статистикой
- Массовое разрешение детектора оценивается методом Монте-Карло и учитывается при аппроксимации распределений инвариантных масс пар треков из реальных данных



Восстановление резонансов

- Эффективность восстановления для K^* и ϕ -мезонов повышается с ростом p_T . Начиная с 5-6 ГэВ/с переходит в режим насыщения
- Измерения ограничены: снизу – быстро уменьшающимся акцептансом, сверху – доступной статистикой
- Массовое разрешение детектора оценивается методом Монте-Карло и учитывается при аппроксимации распределений инвариантных масс пар треков из реальных данных
- Ощутимый вклад в ширину ϕ , незначительный в ширину K^*
- Малое значение массового разрешения позволяет изучать даже небольшие модификации формы пиков, приводящие к изменениям масс и ширин резонансов
- Полученные значения для масс и ширин ϕ и K^* согласуются с PDG значениями. Ведутся работы по ρ , Λ^* , Δ^{++}

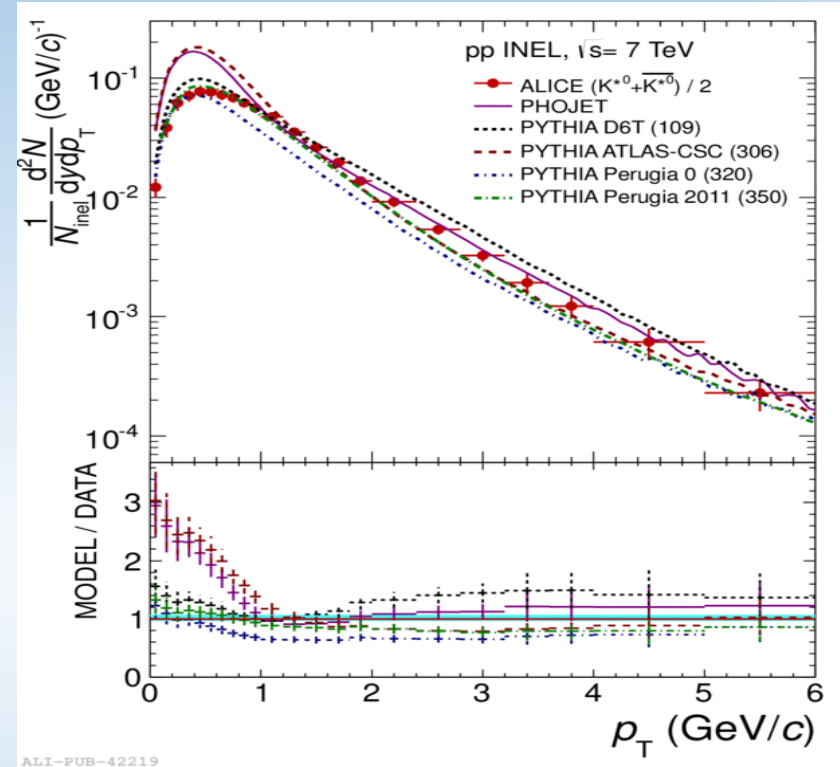
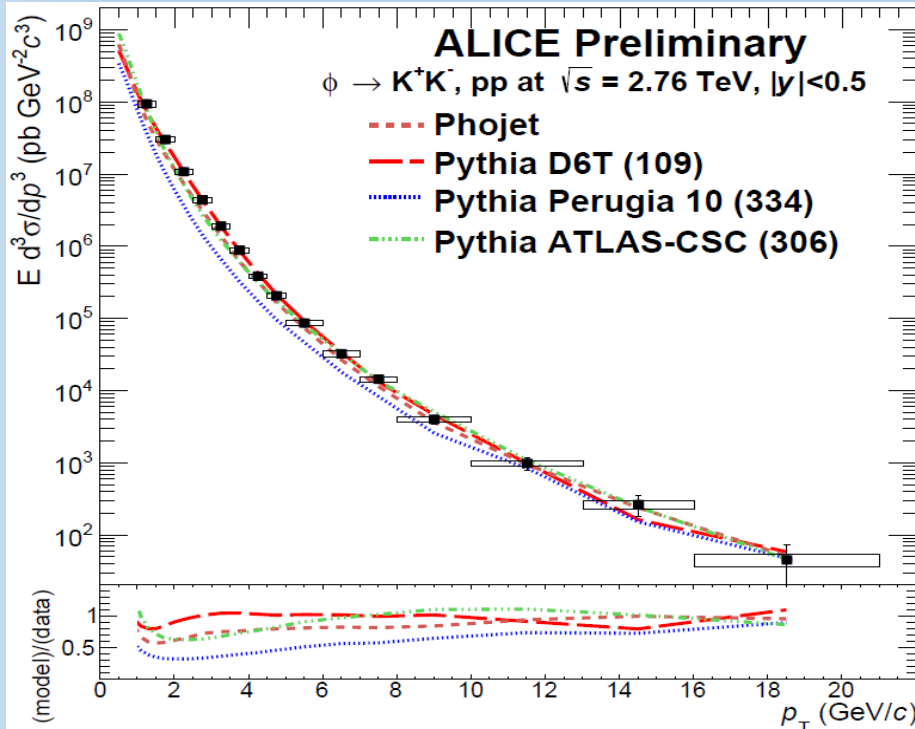


$$\Gamma_{\phi} = 4.26 \pm 0.04 \text{ МэВ}/c^2$$
$$\Gamma_{K^*} = 50.8 \pm 0.9 \text{ МеВ}/c^2$$

Результаты

**Инвариантные дифференциальные спектры
рождения резонансов в pp , pPb и $PbPb$
взаимодействиях**

$\phi(1020)$ p_T спектр в $pp@2.76$ ТэВ и 7 ТэВ

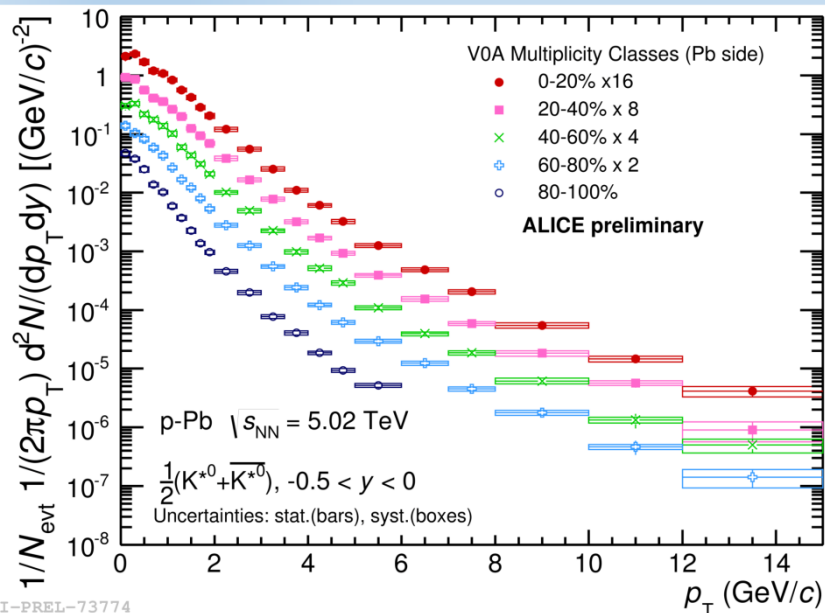


- Первые в мире измерения ϕ -мезонов при $p_T > 7$ ГэВ/с
- Предсказания Pythia и Phojet генераторов согласуются с полученными результатами в области больших значений p_T
- В области малых p_T согласие значительно хуже
- Полученные спектры в pp столкновениях при энергиях $\sqrt{s} = 2.76$ и 7 ТэВ были использованы для получения факторов ядерной модификации в p -Pb и Pb-Pb

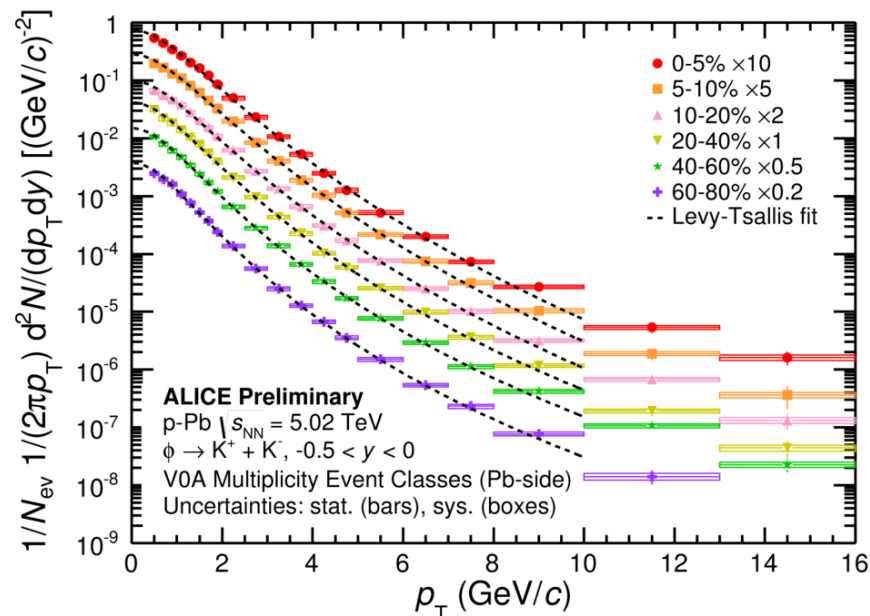
K^{*0} и $\phi(1020)$ p_T спектры в p-Pb@5.02 ТэВ

$$K^{*0} \rightarrow \pi^+ K^-$$

$$\phi \rightarrow K^+ K^-$$



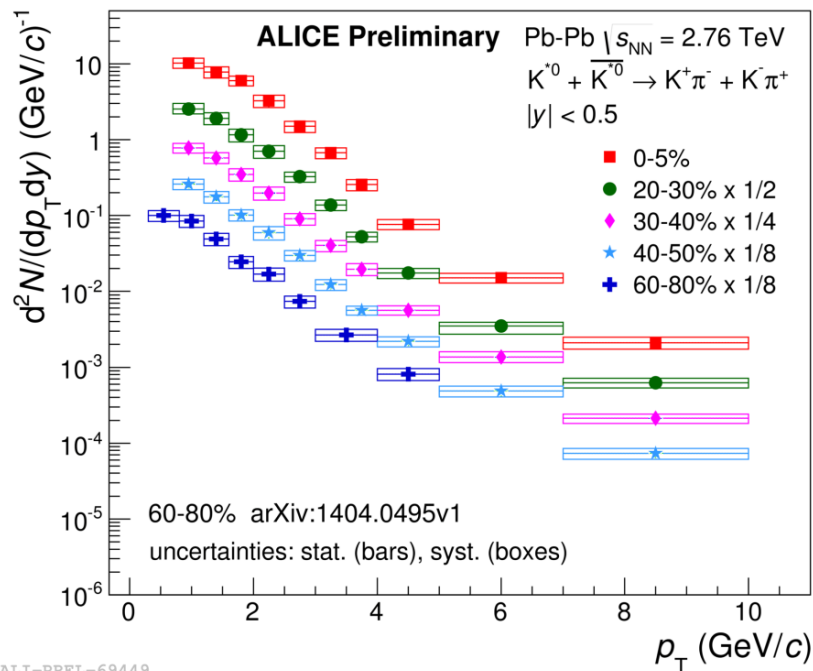
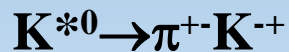
ALI-PREL-73774



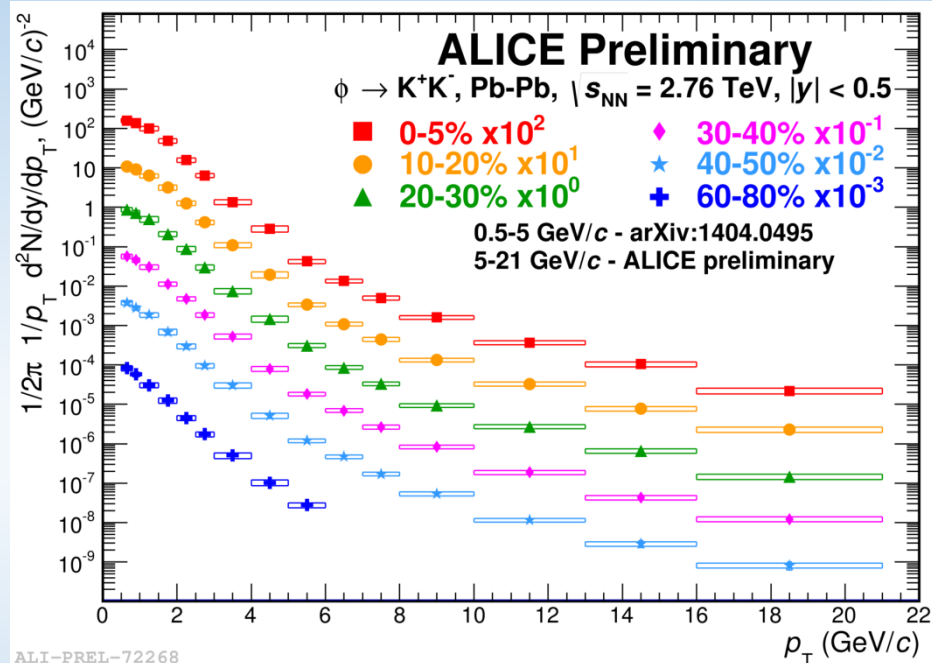
ALI-PREL-71153

- Результаты получены на основе анализа p-Pb данных 2013 года
- K^{*0} мезон измерен в диапазоне $0 < p_T < 15$ ГэВ/с (TPC-TOF идентификация)
- ϕ мезон измерен в диапазоне $0.2 < p_T < 16$ (21 для центральности 0-100%) ГэВ/с
 - $0.2 < p_T < 3$ ГэВ/с (TPC-TOF идентификация)
 - $3 < p_T < 16$ (21) ГэВ/с (без идентификации)

$K^*(892)^*0$ и $\phi(1020)$ p_T спектры в Pb-Pb@2.76 ТэВ



ALI-PREL-69449

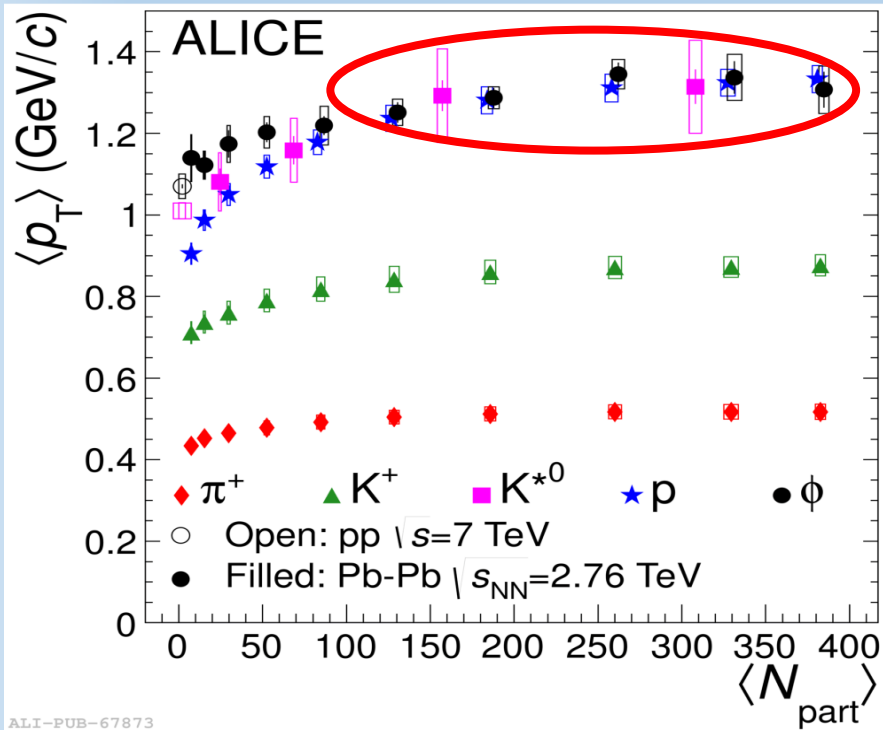


ALI-PREL-72268

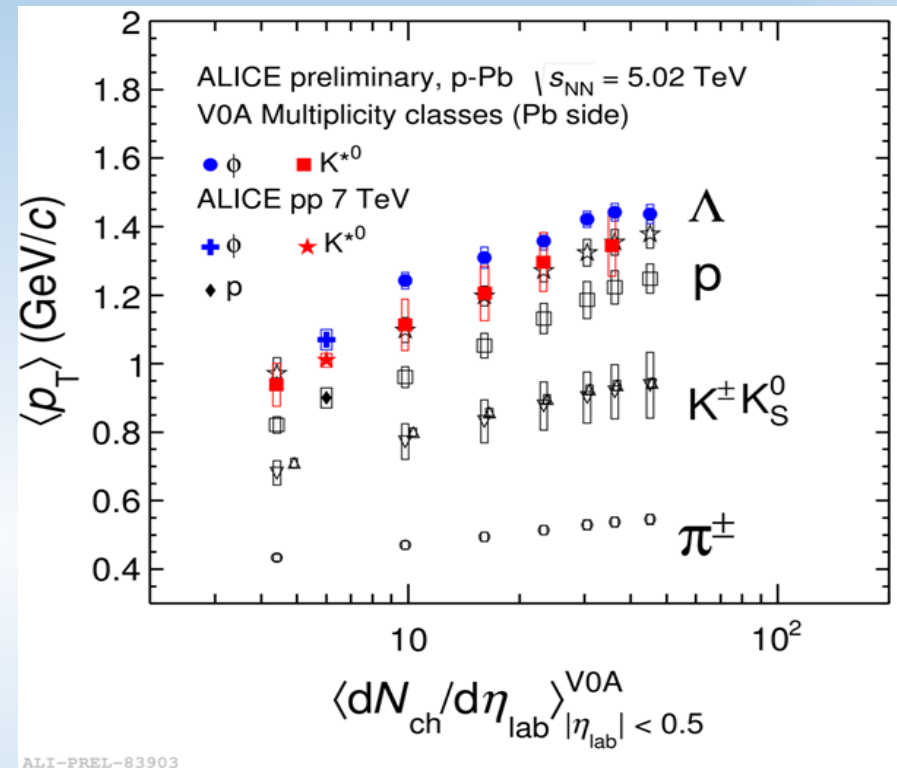
- Результаты получены на основе анализа Pb-Pb данных 2010 и 2011 года
- K^{*0} мезон измерен в диапазоне $0 < p_T < 10$ ГэВ/с (TPC-TOF идентификация)
- ϕ мезон измерен в диапазоне $0.2 < p_T < 21$ ГэВ/с
 - $0.2 < p_T < 5$ ГэВ/с (TPC-TOF идентификация)
 - $5 < p_T < 21$ ГэВ/с (без идентификации)

Особенности рождения резонансов в области малых значений поперечного импульса

$\langle p_T \rangle$ в Pb-Pb и p-Pb столкновениях



ALI-PUB-67873



ALI-PREL-83903

- $\langle p_T \rangle$ для ϕ и K^{*0} мезонов увеличивается с увеличением центральности столкновения (в p-Pb и Pb-Pb) \rightarrow изменение формы спектров при малых p_T \rightarrow коллективные эффекты
- Массовая зависимость $\langle p_T \rangle$ в Pb-Pb
- $\langle p_T \rangle$ для ϕ и K^{*0} мезонов больше, чем $\langle p_T \rangle$ для p и Λ барионов в p-Pb

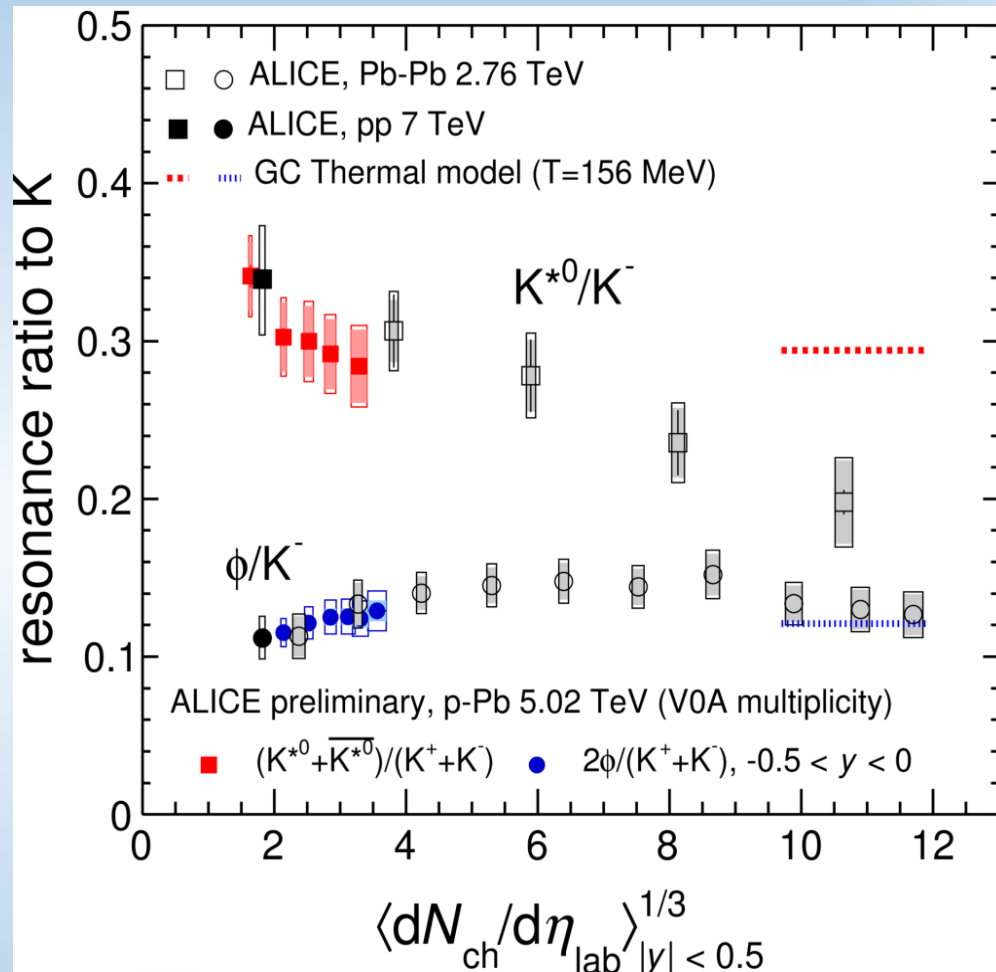
Отношения выходов K^*/K , ϕ/K

p-Pb

- Отношение ϕ/K практически не зависит от центральности столкновения
- Оба отношения согласуются со значениями для периферийных Pb-Pb взаимодействий

Pb-Pb

- Отношение ϕ/K в наиболее центральных Pb-Pb взаимодействиях согласуется со значениями в pp столкновениях и с теоретическими предсказаниями (Andronic et al., J. Phys. G38(2011)124081)
- Отношение K^*/K сильно уменьшается при переходе от периферийных к центральным Pb-Pb столкновениям \rightarrow перерассеивание при низких p_T



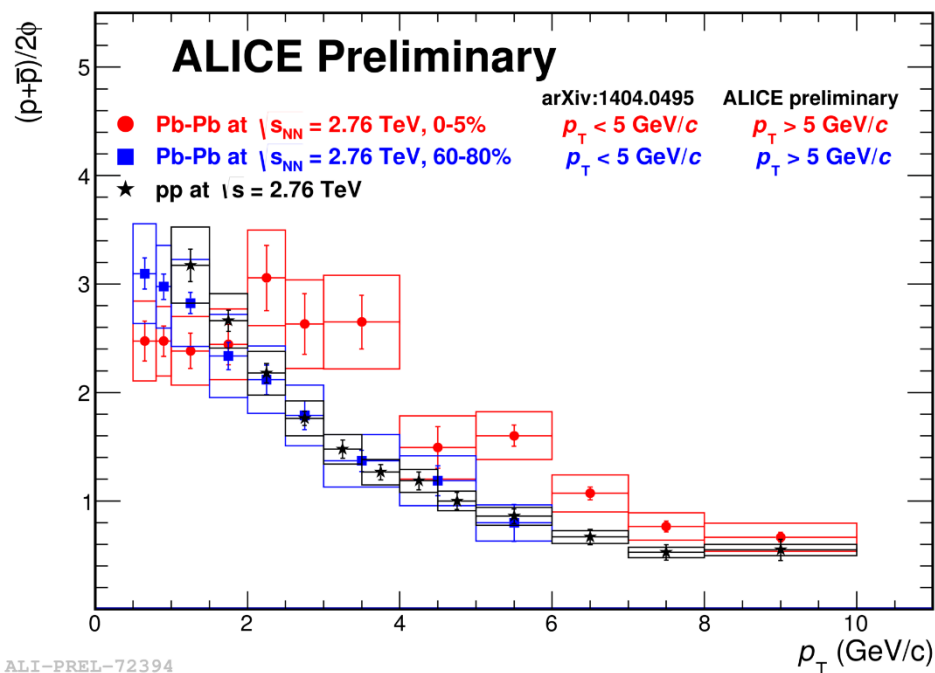
Время жизни: $K^{*0} \approx 4$ фм/с; $\phi \approx 45$ фм/с

Особенности рождения резонансов в области промежуточных значений поперечного импульса

p/ϕ в различных сталкивающихся системах

Pb-Pb

- В центральных Pb-Pb столкновениях отношение p/ϕ не зависит от поперечного импульса при $p_T < 4$ ГэВ/с \rightarrow форма спектров при малых p_T определяется массой частицы \rightarrow гидродинамика
- Нет необходимости в привлечении рекомбинационных моделей



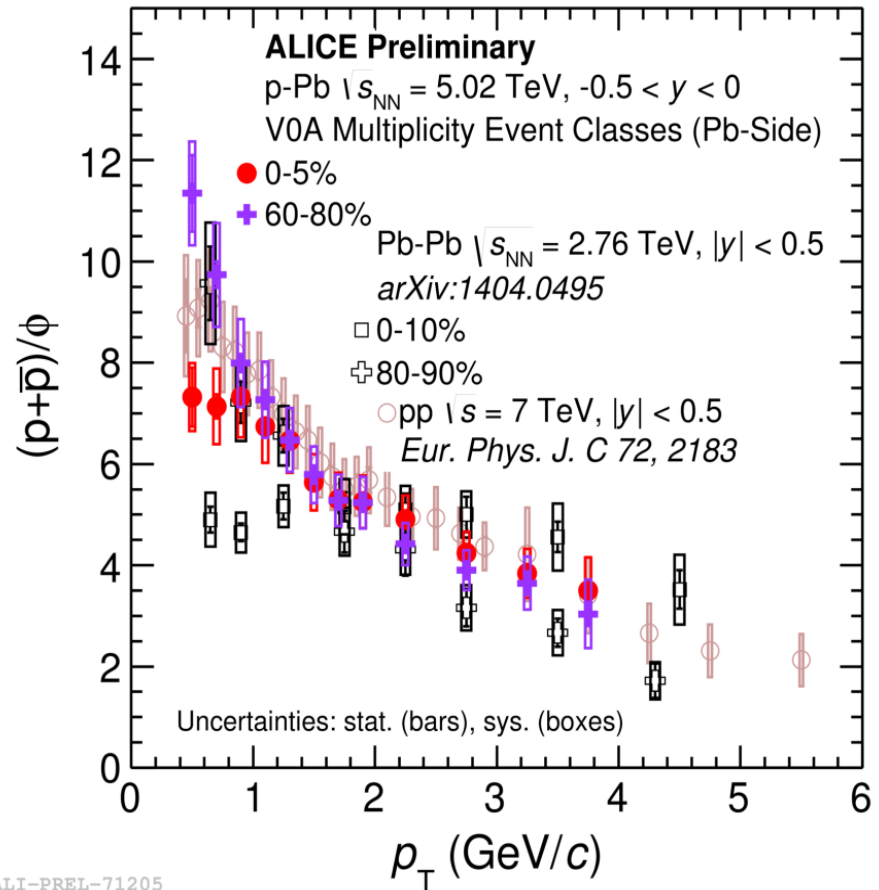
р/φ в различных сталкивающихся системах

Pb-Pb

- В центральных Pb-Pb столкновениях отношение r/ϕ не зависит от поперечного импульса при $p_T < 4$ ГэВ/с \rightarrow форма спектров при малых p_T определяется массой частицы \rightarrow гидродинамика
- Нет необходимости в привлечении рекомбинационных моделей

p-Pb

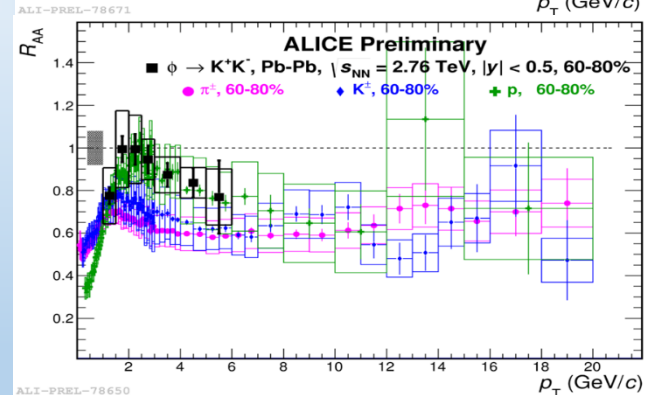
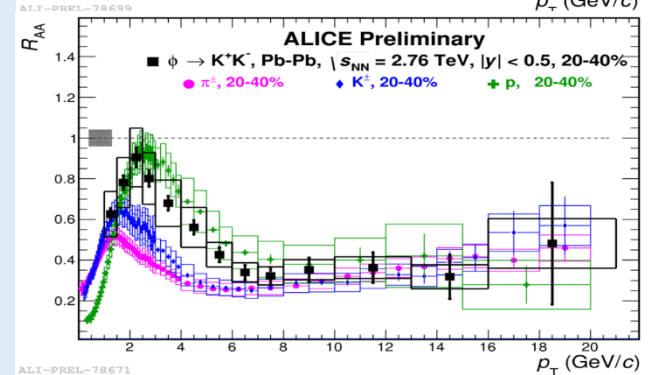
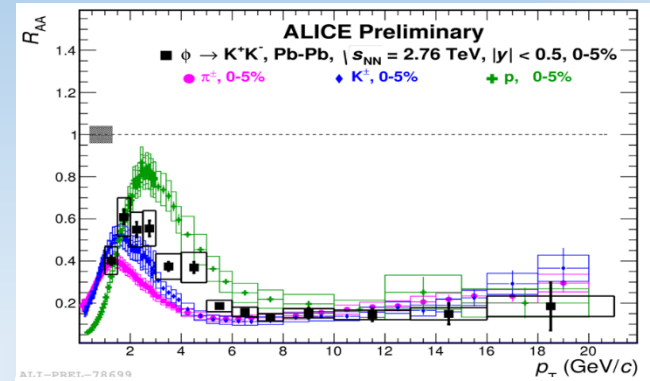
- Отношение r/ϕ для центральности 60-80% согласуется со значениями для случая Pb-Pb (80-90%) и pp взаимодействий
- В наиболее центральных p-Pb взаимодействиях наблюдается схожая с Pb-Pb взаимодействиями независимость отношения r/ϕ от поперечного импульса при $p_T < 1.5$ ГэВ/с \rightarrow коллективные эффекты в p-Pb???



ALI-PREL-71205

R_{AA} ϕ -мезонов в Pb-Pb@2.76 ТэВ

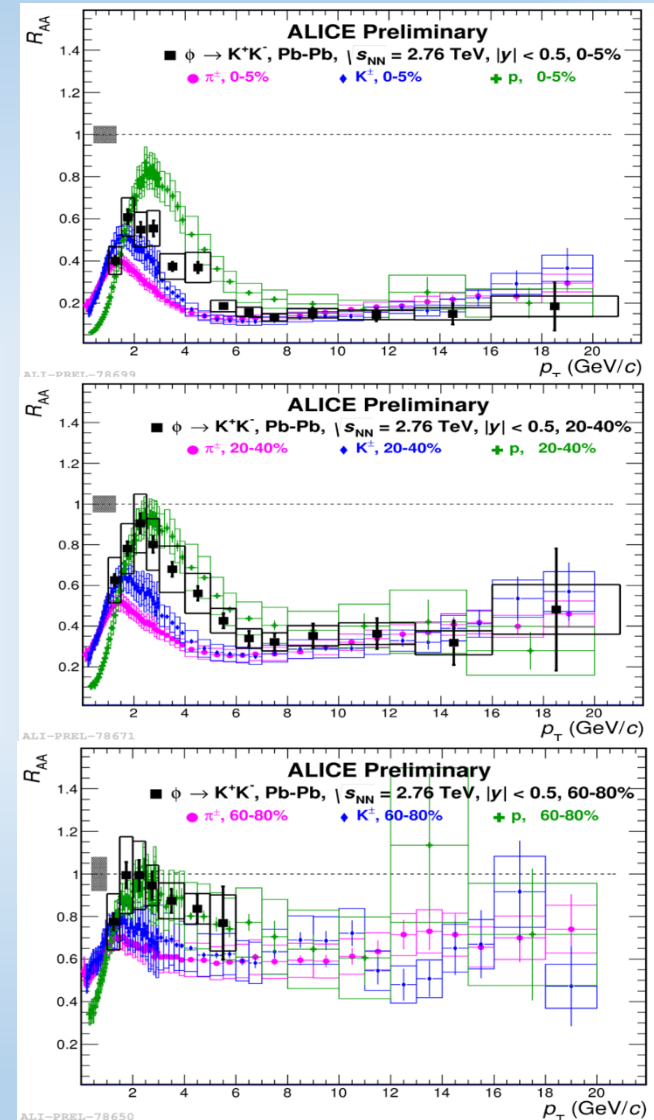
$$R_{AB} = \frac{dN_{AB}^p}{\langle T_{AB} \rangle \times d\sigma_{NN}^p}$$



R_{AA} ϕ -мезонов в Pb-Pb@2.76 ТэВ

$$R_{AB} = \frac{dN_{AB}^p}{\langle T_{AB} \rangle \times d\sigma_{NN}^p}$$

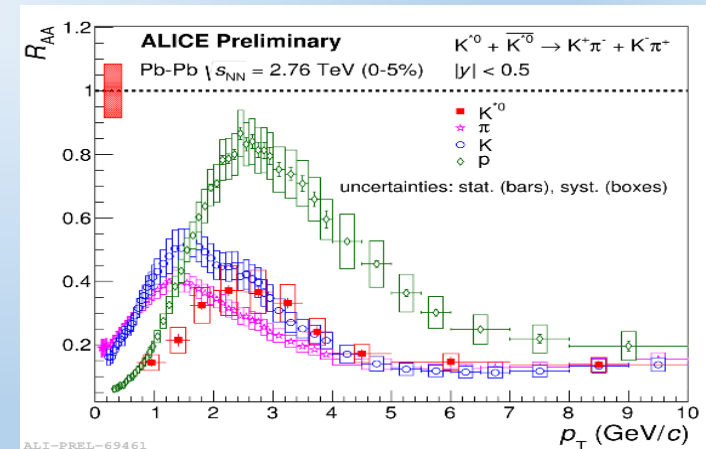
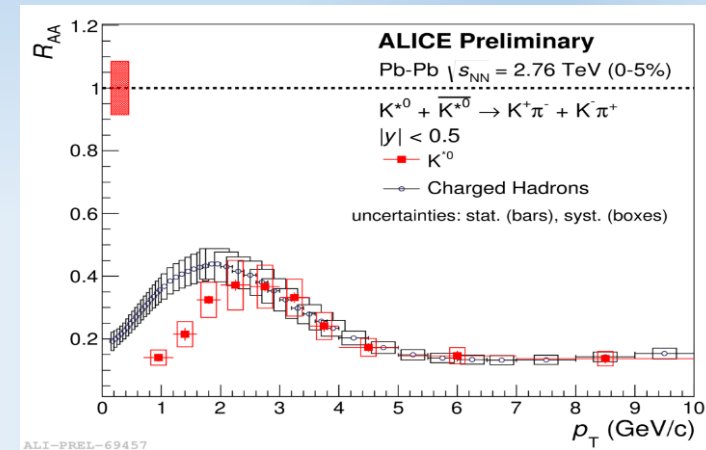
- Зависимость значений R_{AA} от типа частицы в области промежуточных p_T
- R_{AA} для ϕ -мезонов становится ближе к R_{AA} для протонов при переходе от центральным к периферийным столкновениям
- Разница в R_{AA} для ϕ -мезонов и протонов в наиболее центральных столкновениях может быть объяснена разницей в спектрах в pp столкновениях, так как отношение p/ϕ не зависит от p_T в этой области значений поперечного импульса



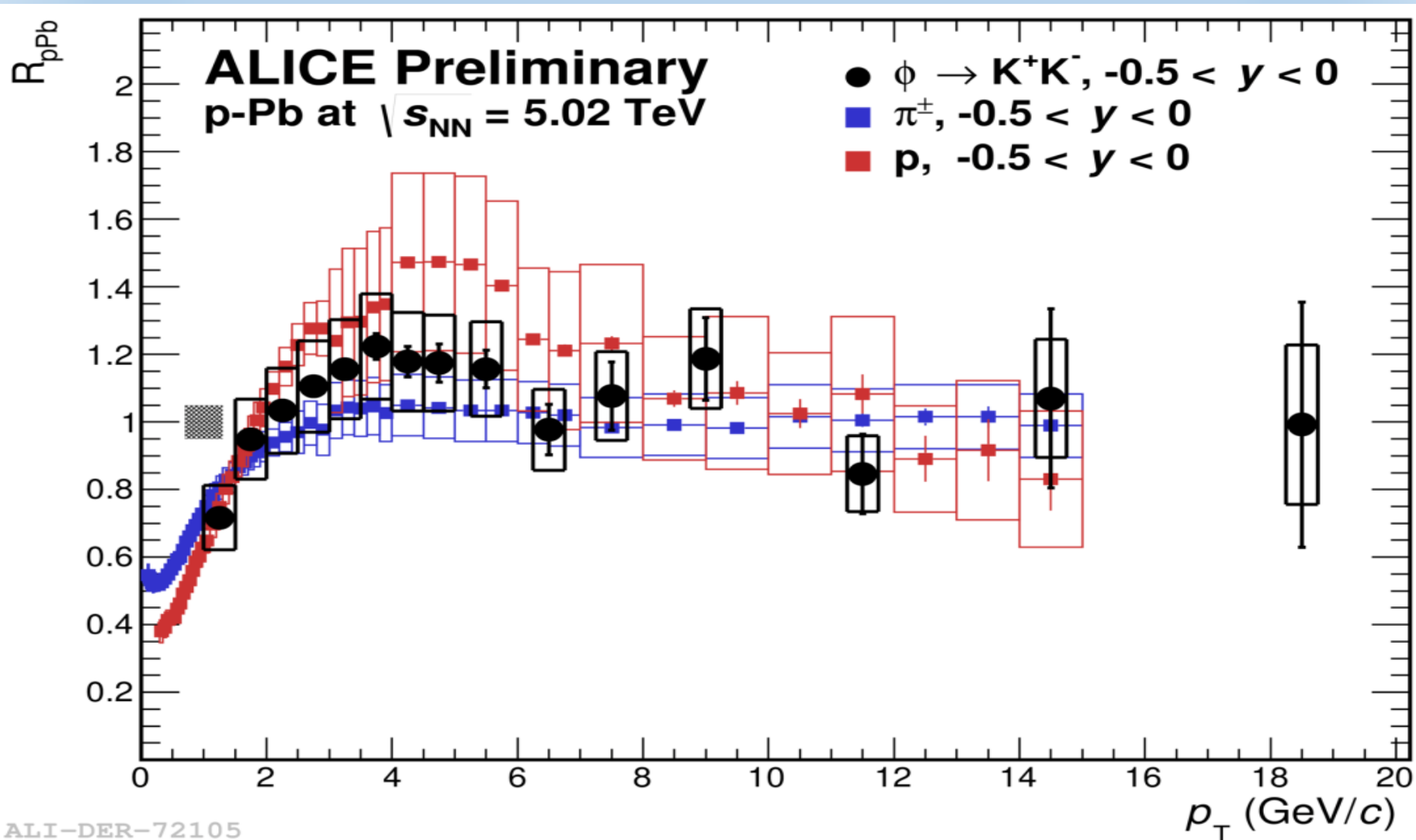
R_{AA} K^* -мезонов в Pb-Pb@2.76 ТэВ

$$R_{AB} = \frac{dN_{AB}^p}{\langle T_{AB} \rangle \times d\sigma_{NN}^p}$$

- Зависимость значений R_{AA} от типа частицы области промежуточных p_T
- R_{AA} для ϕ -мезонов становится ближе к R_{AA} для протонов при переходе от центральным к периферийным столкновениям
- Разница в R_{AA} для ϕ -мезонов и протонов в наиболее центральных столкновениях может быть объяснена разницей в спектрах в pp столкновениях, так как отношение p/ϕ не зависит от p_T в этой области значений поперечного импульса
- Разница в R_{AA} для K^* и заряженных адронов в области $p_T < 2$ ГэВ/с может быть объяснена в рамках эффектов перерассеивания

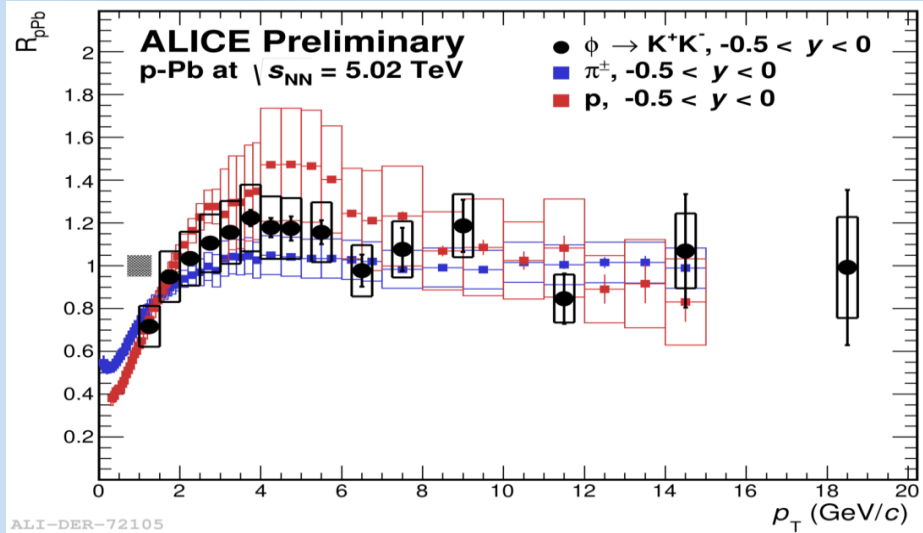


R_{pPb} ϕ -МЕЗОНОВ В p-Pb@5.02 ТэВ



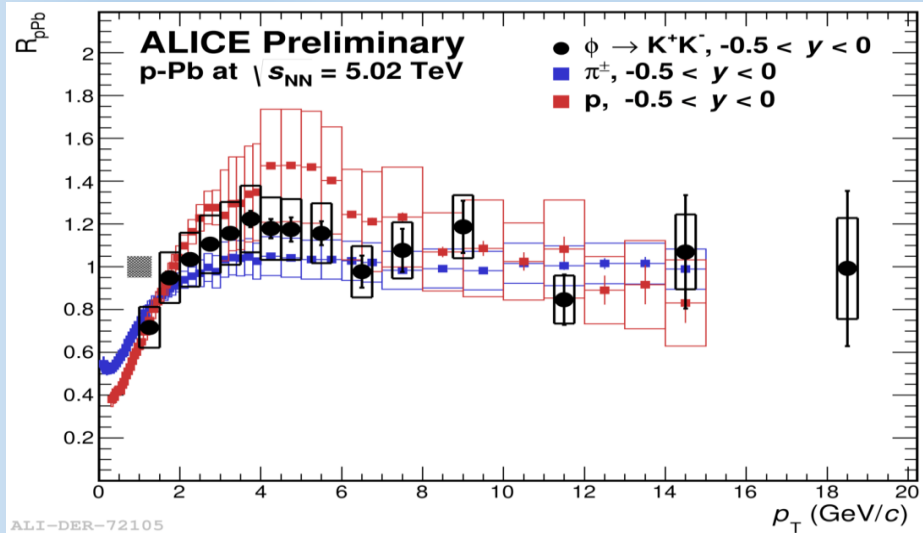
R_{pPb} ϕ -МЕЗОНОВ В p-Pb@5.02 ТэВ

$\phi \rightarrow K^+K^-$



R_{pPb} ϕ -мезонов в p-Pb@5.02 ТэВ

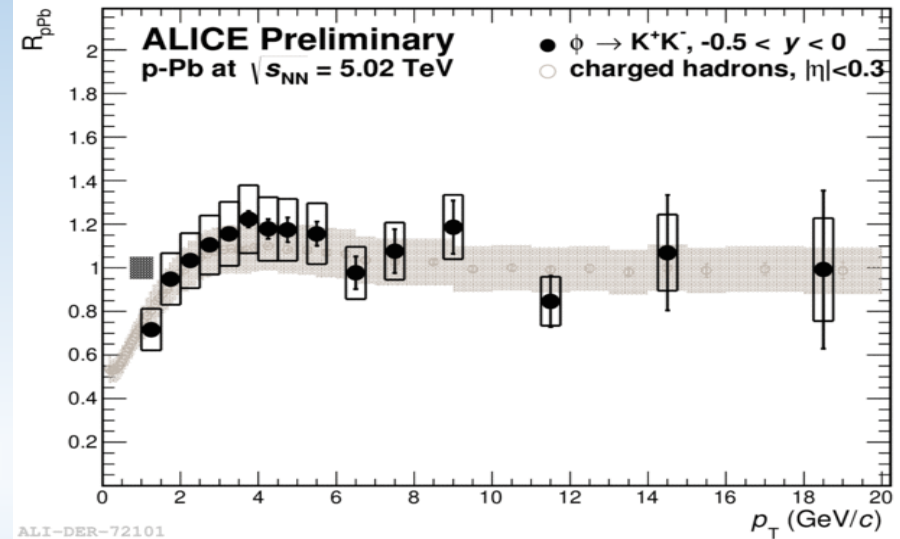
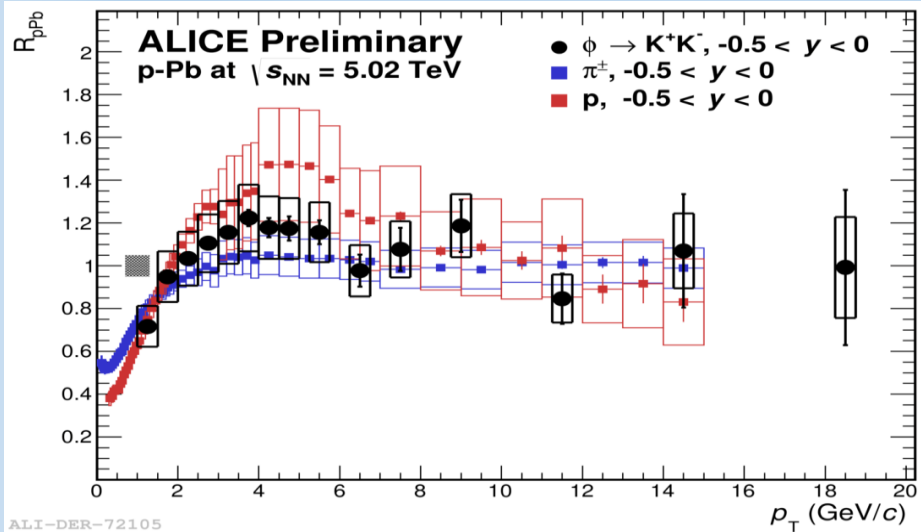
$\phi \rightarrow K^+K^-$



Спектр рождения ϕ -мезонов в pp столкновениях при энергии $\sqrt{s} = 5.02$ ТэВ получен путем интерполяции результатов полученных в pp столкновениях при энергиях $\sqrt{s} = 2.76$ и 7 ТэВ

R_{pPb} ϕ -мезонов в p-Pb@5.02 ТэВ

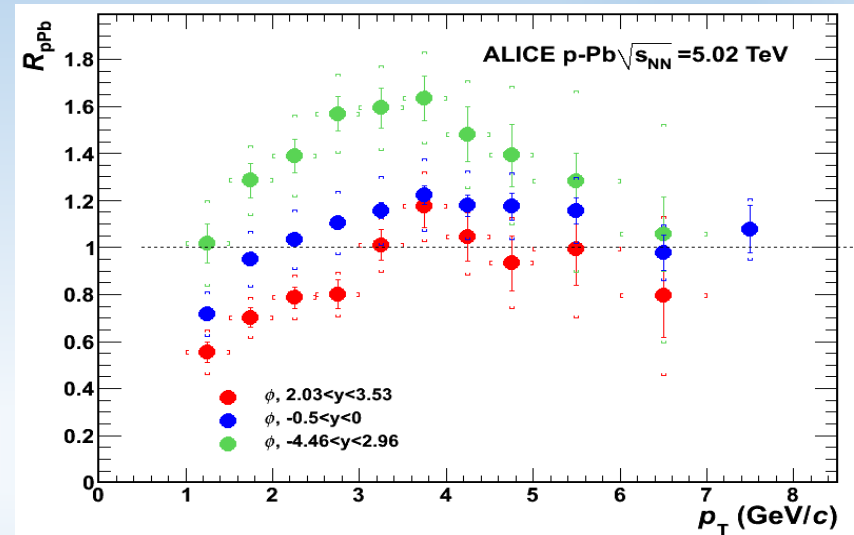
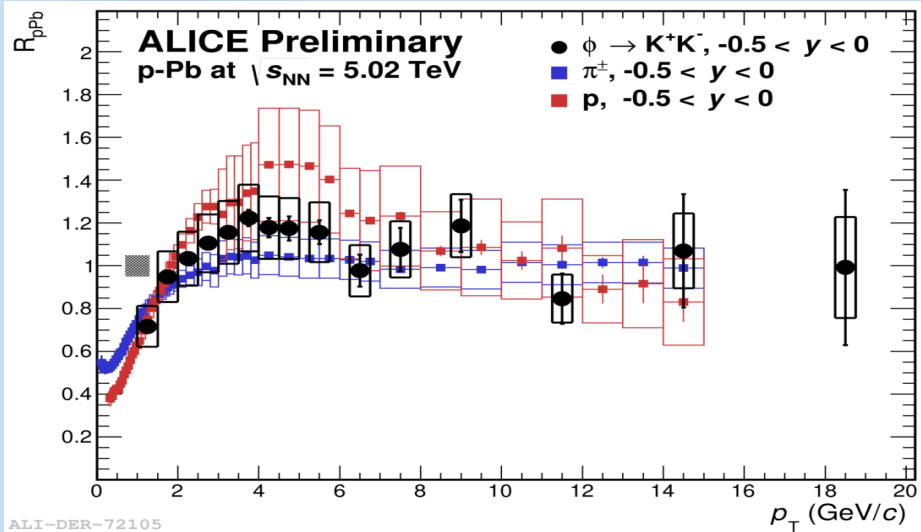
$$\phi \rightarrow K^+K^-$$



- R_{pPb} для ϕ -мезонов в пределах ошибок совпадает с R_{pPb} для h^\pm
- При промежуточных p_T выход барионов сильно увеличен. Для мезонов данный эффект («эффект Кронины») выражен слабо

R_{pPb} ϕ -мезонов в p-Pb@5.02 ТэВ

$$\phi \rightarrow K^+K^-$$



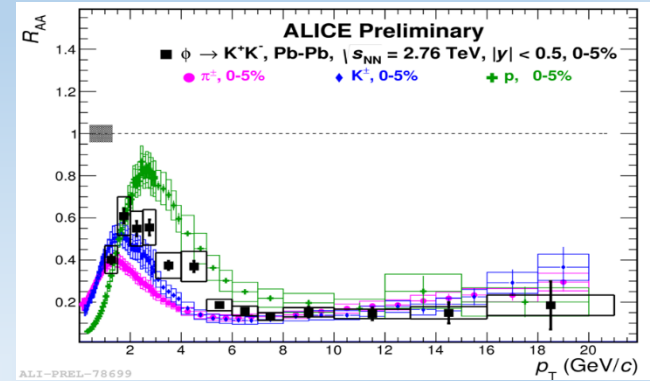
- R_{pPb} для ϕ -мезонов в пределах ошибок совпадает с R_{pPb} для h^\pm
- При промежуточных p_T выход барионов сильно увеличен. Для мезонов данный эффект («эффект Кронины») выражен слабо
- Сильная зависимость R_{pPb} от быстроты \rightarrow экранировка/антиэкранировка структурных функций в разных областях иксов. Отсутствие теоретических моделей численно описывающих зависимость
- Роль и происхождение эффекта Кронины при центральных быстротах??? \leftarrow Нет ответа

Особенности рождения резонансов в области больших значений поперечного импульса

R_{AA} ϕ -мезонов в Pb-Pb@2.76 ТэВ

$$R_{AB} = \frac{dN_{AB}^p}{\langle T_{AB} \rangle \times d\sigma_{NN}^p}$$

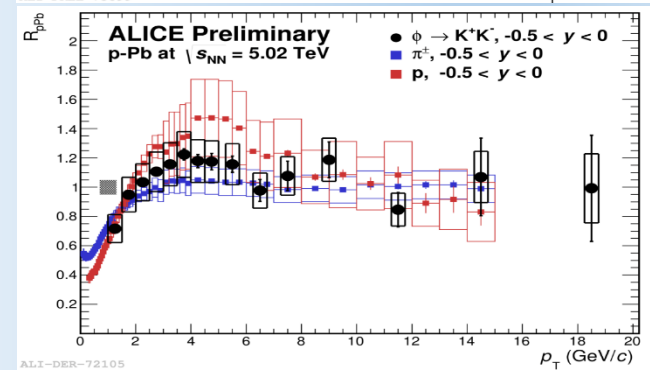
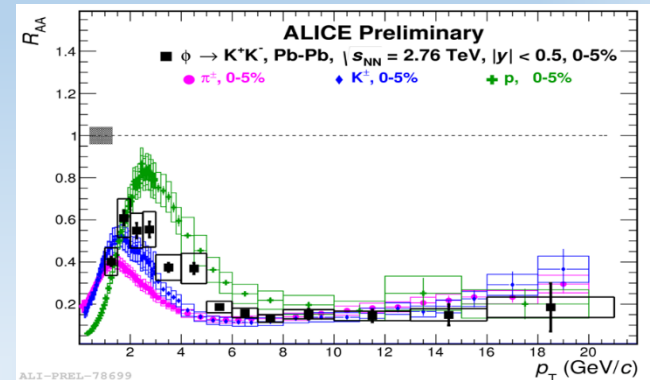
- При больших p_T все адроны подавлены одинаково



R_{AA} ϕ -мезонов в Pb-Pb@2.76 ТэВ

$$R_{AB} = \frac{dN_{AB}^p}{\langle T_{AB} \rangle \times d\sigma_{NN}^p}$$

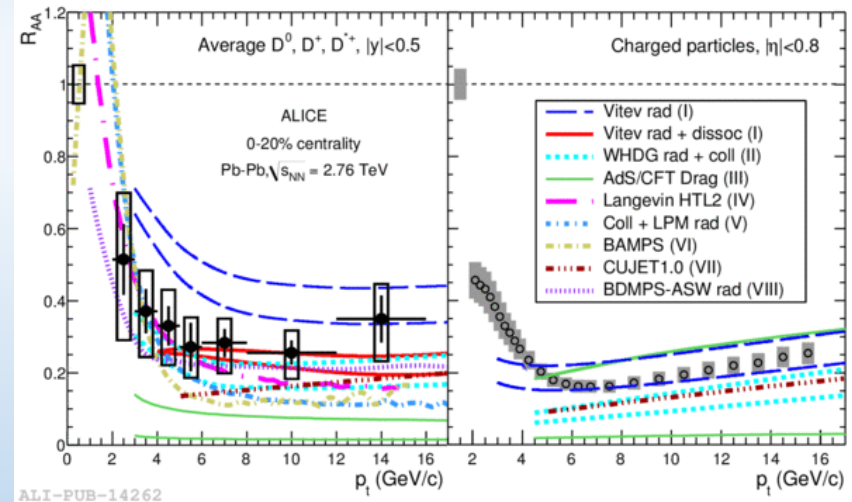
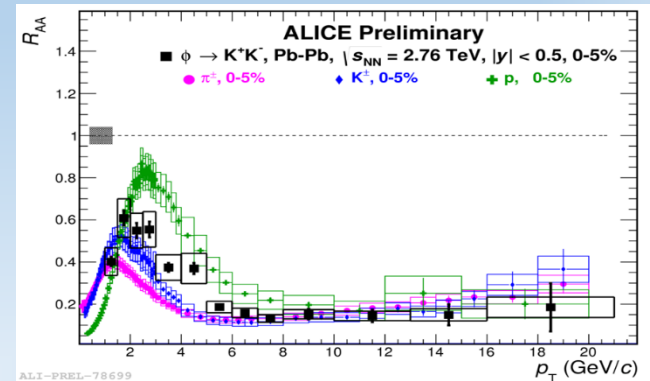
- При больших p_T все адроны подавлены одинаково
- При больших p_T R_{pPb} для всех адронов в пределах ошибок совпадает с единицей \leftrightarrow нет подавления выходов



R_{AA} ϕ -мезонов в Pb-Pb@2.76 ТэВ

$$R_{AB} = \frac{dN_{AB}^p}{\langle T_{AB} \rangle \times d\sigma_{NN}^p}$$

- При больших p_T все адроны подавлены одинаково
- При больших p_T R_{pPb} для всех адронов в пределах ошибок совпадает с единицей \leftrightarrow нет подавления выходов
- Степень подавления выходов адронов, содержащих тяжелые кварки (D-мезоны), в пределах ошибок совпадает с подавлением выходов адронов, содержащих легкие (протоны, пионы) и промежуточные (ϕ -мезоны) кварки
- Теоретические модели не могут одновременно описать все результаты



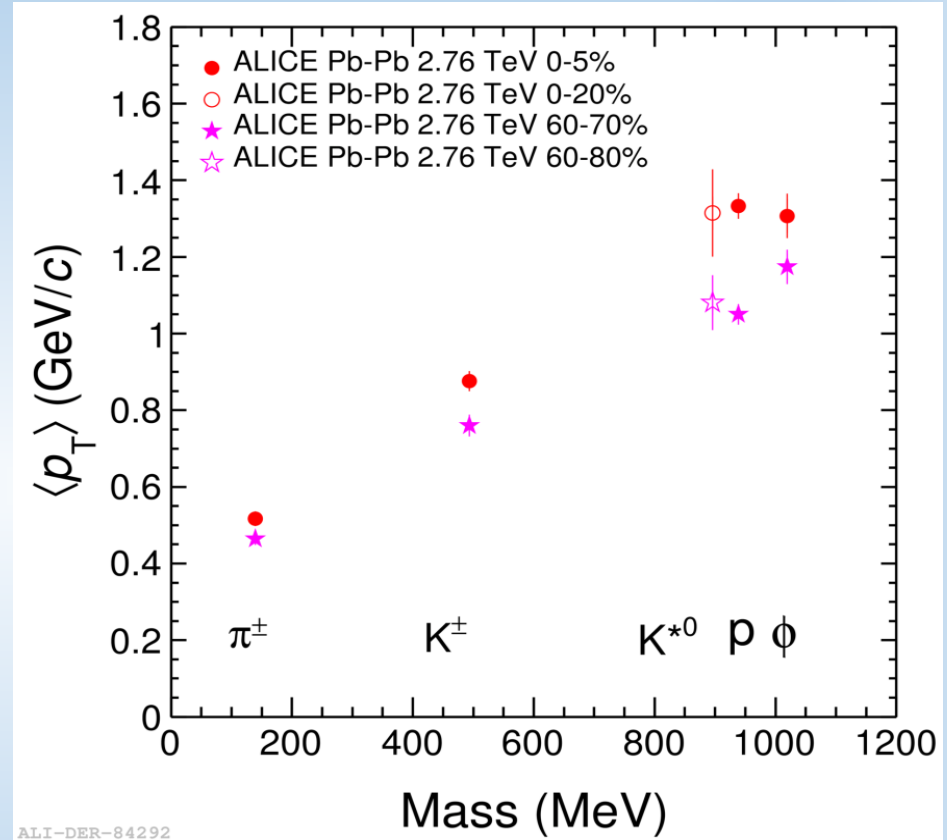
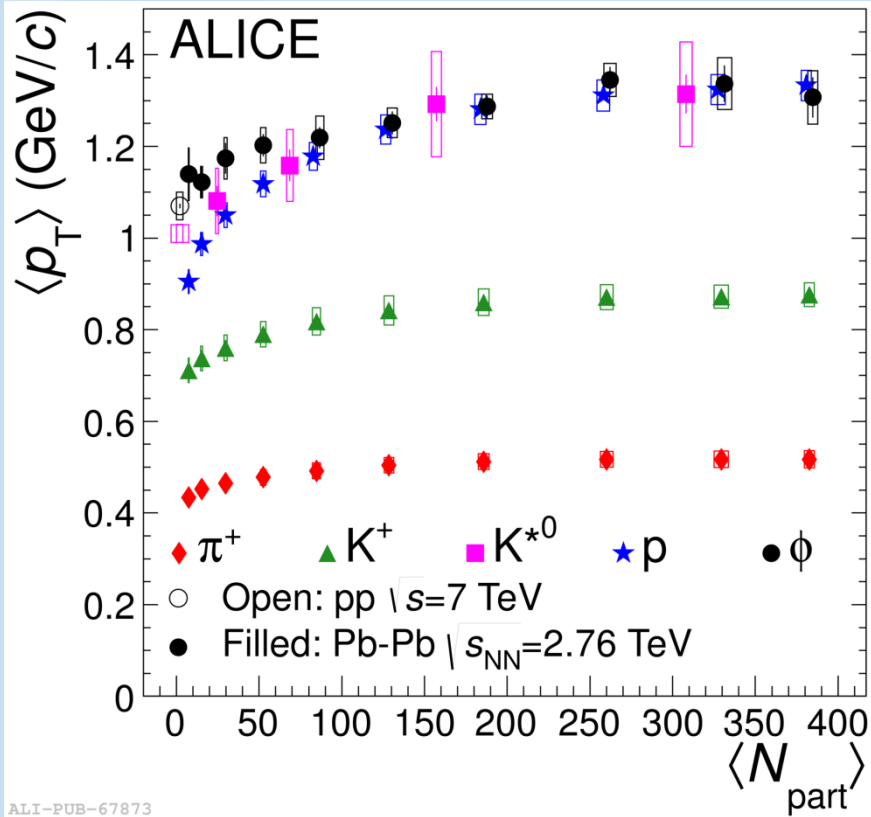
Основные выводы

- ✓ В Pb-Pb и p-Pb взаимодействиях $\langle p_T \rangle$ для резонансов демонстрирует изменение формы спектров рождения в области малых p_T вследствие развития коллективных эффектов
- ✓ Наблюдается сильное уменьшение отношения K^*/K при переходе от периферийных к центральным Pb-Pb столкновениям (увеличение размера образующейся среды) → выходы K^* мезонов искажены вследствие перерассеивания в адронной фазе. В то же время отношение ϕ/K не испытывает подавления → ϕ -мезон ведет себя как долгоживущая частица.
- ✓ Отношение p/ϕ не зависит от поперечного импульса в центральных Pb-Pb столкновениях в области $p_T < 4$ ГэВ/с → форма спектра определяется массой частицы → гидродинамическая модель для описания механизмов рождения (нет необходимости привлечения рекомбинационных моделей)
- ✓ В центральных p-Pb взаимодействиях наблюдается намек на независимость отношения выходов p/ϕ поперечного импульса в области $p_T < 1.5$ ГэВ/с → возможный признак коллективных эффектов в p-Pb столкновениях
- ✓ В p-Pb взаимодействиях не наблюдается подавления выхода адронов при больших значениях p_T . При промежуточных p_T выход барионов сильно превышен по сравнению с pp столкновениями, в то время как для мезонов это превышение является слабо выраженным. Сильная зависимость от быстроты
- ✓ В центральных Pb-Pb взаимодействиях при больших p_T выходы всех адронов одинаково подавлены ↔ противоречит теоретическим моделям, предсказывающим зависимость подавления от кваркового состава частицы

**Спасибо за
внимание!**

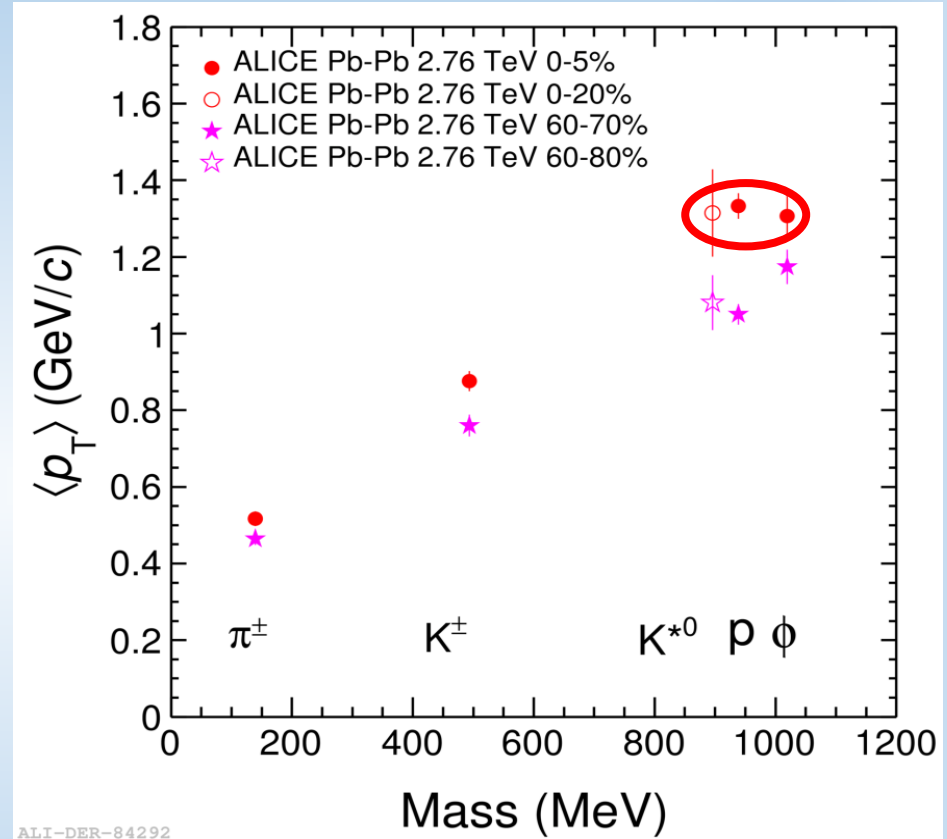
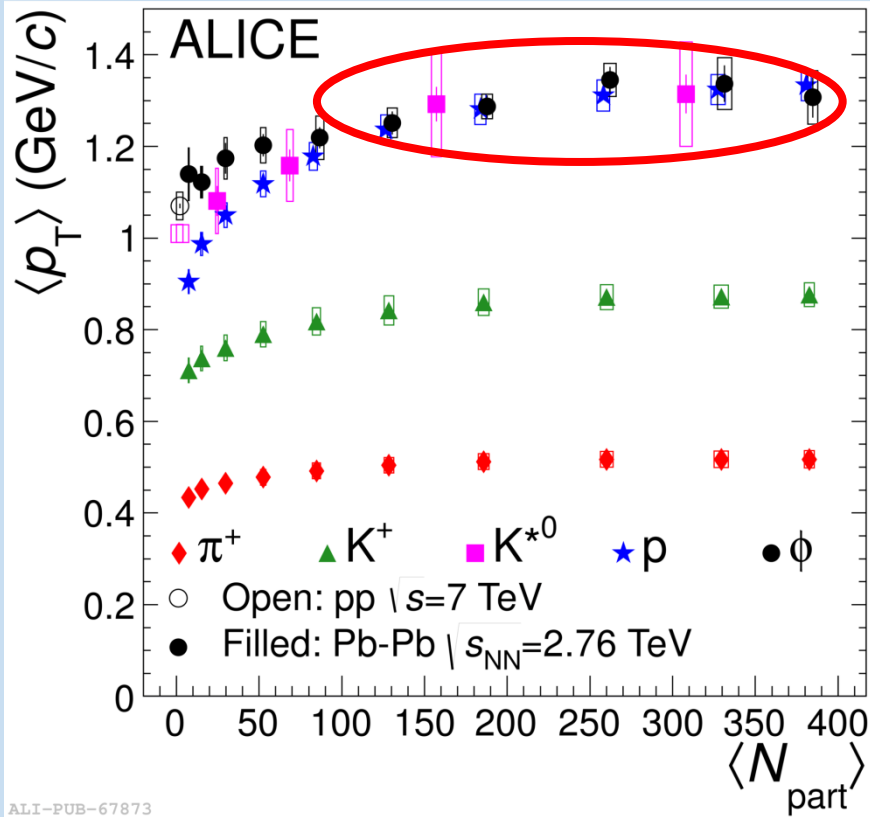
Backup

$\langle p_T \rangle$ в Pb-Pb столкновениях



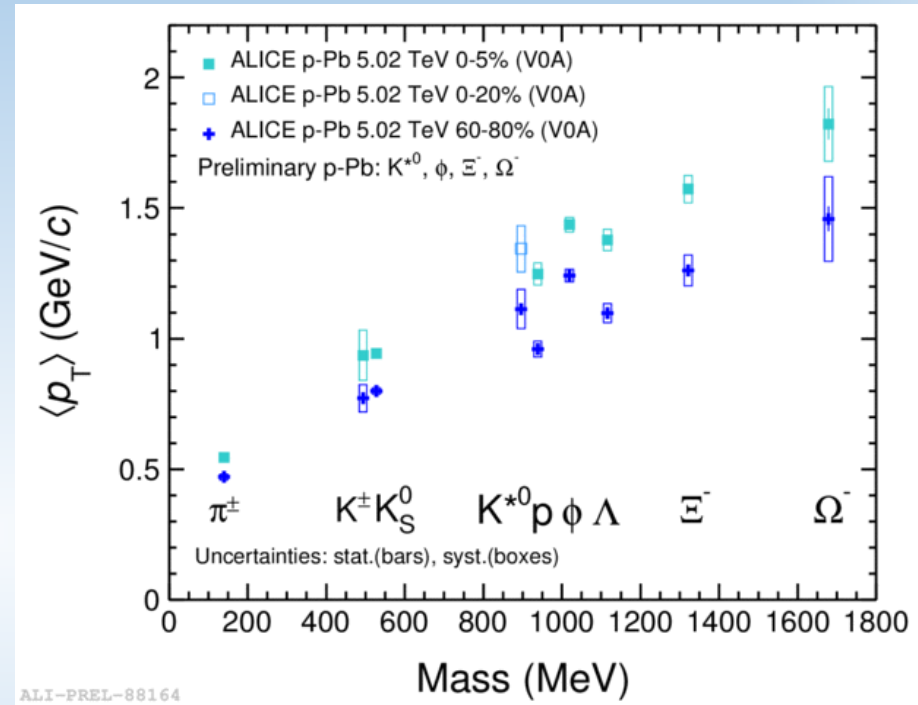
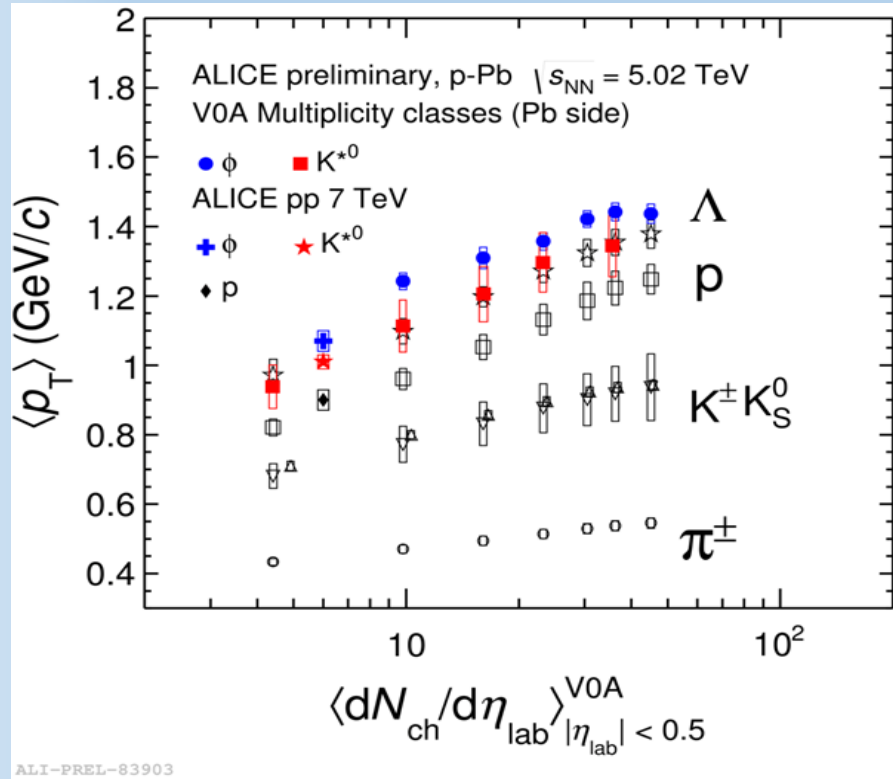
Эволюция формы спектров рождения резонансов с изменением множественности в области малых значений поперечного импульса

$\langle p_T \rangle$ в Pb-Pb столкновениях



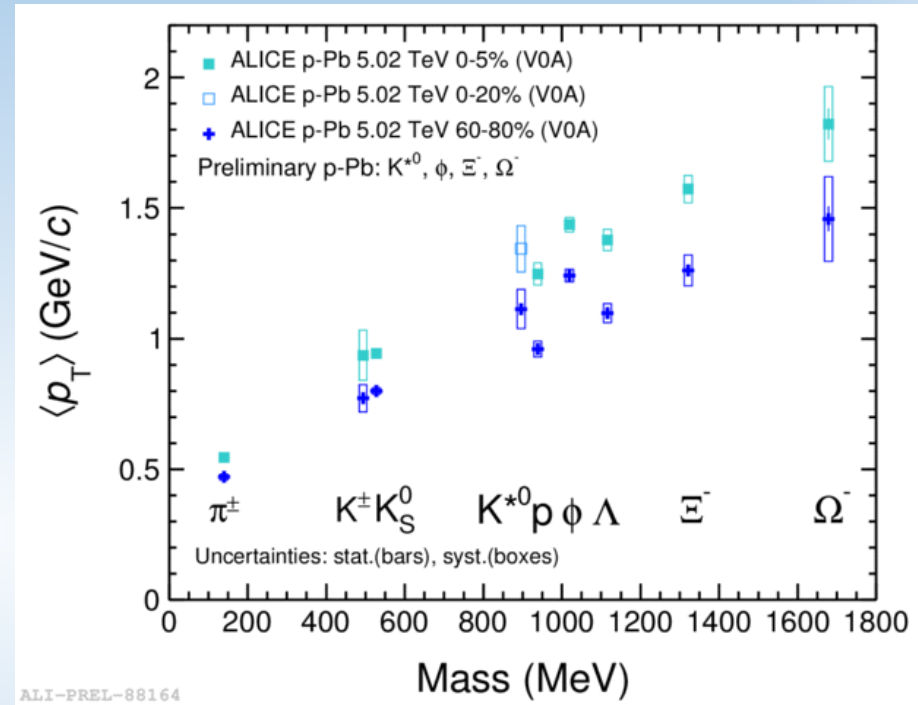
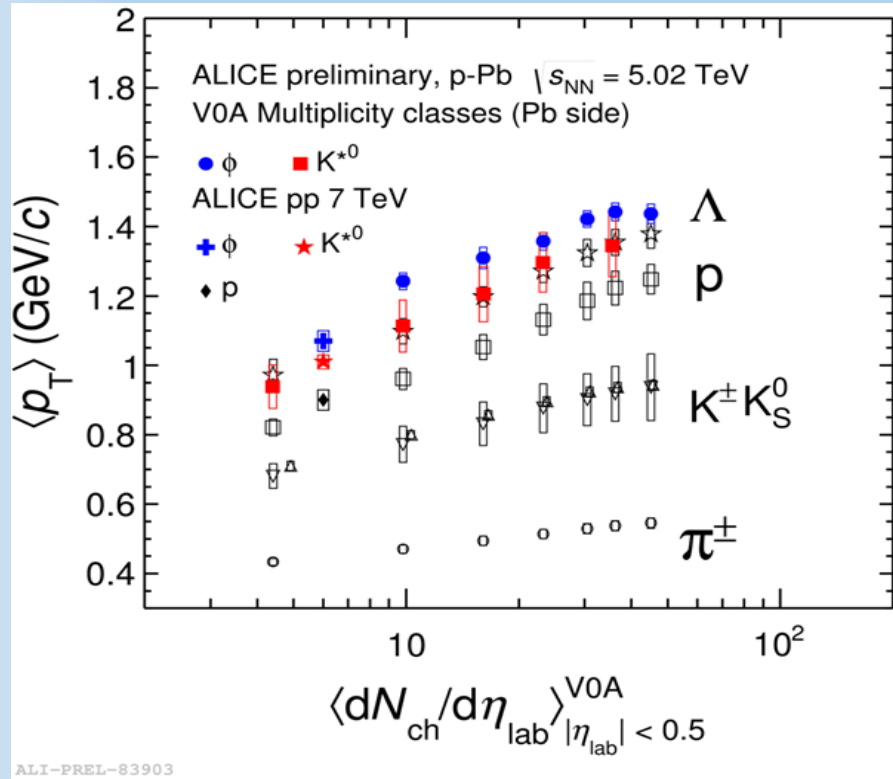
В центральных Pb-Pb взаимодействиях частицы со схожими значениями масс (p , K^* , ϕ) имеют схожие значения $\langle p_T \rangle \rightarrow$ формы спектров определяются массой \rightarrow гидродинамическая модель

$\langle p_T \rangle$ в p-Pb столкновениях



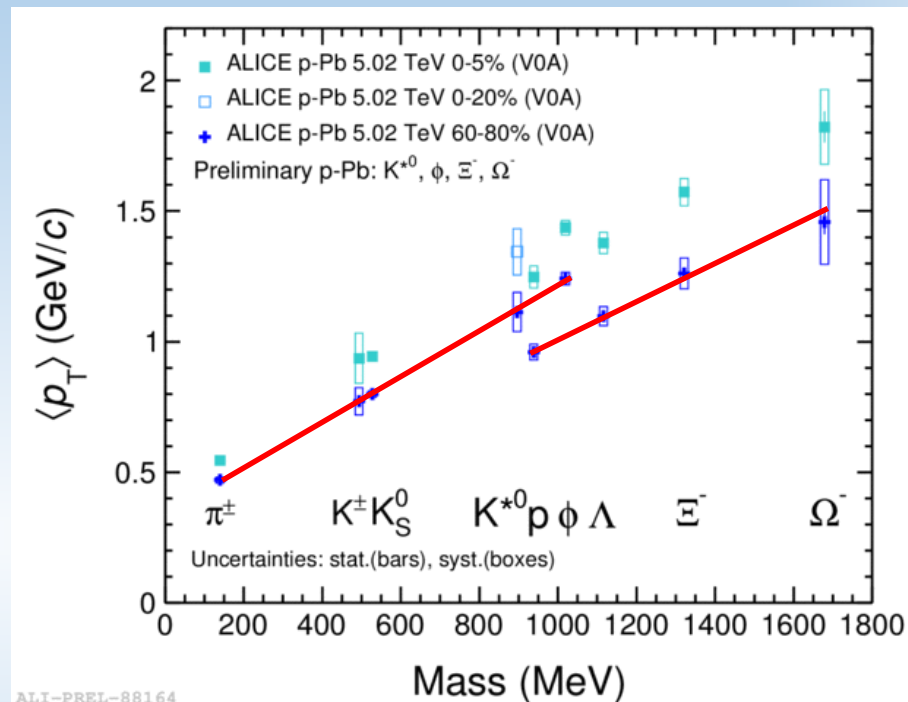
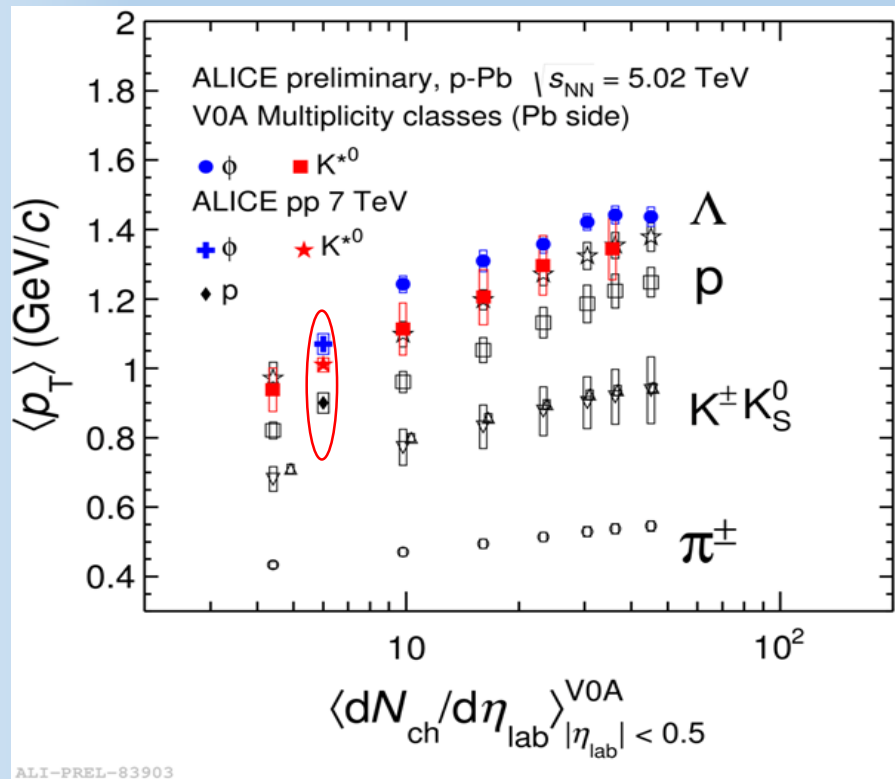
- $\langle p_T \rangle$ для ϕ и K^{*0} мезонов увеличивается с увеличением центральности столкновения (как и в случае Pb-Pb взаимодействий) \rightarrow изменение формы спектров при малых p_T \rightarrow коллективные эффекты

$\langle p_T \rangle$ в p-Pb столкновениях



- $\langle p_T \rangle$ для ϕ и K^{*0} мезонов увеличивается с увеличением центральности столкновения (как и в случае Pb-Pb взаимодействий) \rightarrow изменение формы спектров при малых p_T \rightarrow коллективные эффекты
- $\langle p_T \rangle$ для ϕ и K^{*0} мезонов больше, чем $\langle p_T \rangle$ для p и Λ барионов

$\langle p_T \rangle$ в p-Pb столкновениях



- $\langle p_T \rangle$ для ϕ и K^{*0} мезонов увеличивается с увеличением центральности столкновения (как и в случае Pb-Pb взаимодействий) \rightarrow изменение формы спектров при малых p_T \rightarrow коллективные эффекты
- $\langle p_T \rangle$ для ϕ и K^{*0} мезонов больше, чем $\langle p_T \rangle$ для p и Λ барионов
- Подобное отклонение от массовой зависимости также обнаружено в pp столкновениях