

О применении генераторов EPOS4, URQMD (LHC) и PhQMD для анализа событий в физике сверхвысоких энергий

К.В.Размыслов^(*, 1), К.А. Галактионов⁽¹⁾, М.А.Жаров⁽¹⁾, Ф.Ф.Валиев⁽¹⁾, В.В. Монахов⁽¹⁾
(1) – Санкт-Петербургский Государственный Университет (*) – st097914@student.spbu.ru

Мы провели моделирование р-р столкновений ($\sqrt{s_{nn}}=7$ ТэВ) при помощи генераторов событий EPOS4 [1], UrQMD (LHC) [2] и PhQMD [3] и столкновений Xe-W ($E_{beam,n}=2.5$ ГэВ) в PhQMD с целью изучения их применимости в физике сверхвысоких энергий.

Мы обнаружили нарушение законов сохранения при генерации событий и показали необходимость данных проверок для прикладного использования данных генераторов.

Проверка сохранения энергии (pp 7 ТэВ)

Для генератора EPOS4 обнаружено несохранение энергии, $\approx 87\%$ событий лежало вне пика. Поэтому в дальнейшем изучалась возможность отсеивания событий с сильно отличными от ожидаемых энергиями. Основная часть событий EPOS4 лежит в хвостах распределения (Рис.1).

Для PhQMD и UrQMD получены узкие пики без хвостов. PhQMD в данной проверке показал себя лучше всего (98% событий в пике), в то время как у UrQMD в пике оказалось 75% событий (Рис.1).

Сдвиг пика PhQMD связан с особенностью задания начальных условий.

Проверка сохранения величин Q, B и L (pp 7 ТэВ)

Проведена проверка сохранения электрического, барионного и лептонного зарядов. Ожидаемые значения $Q=B=2$, $L=0$, в соответствии с исходными сталкивающимися частицами (Рис. 2-3).

Было выявлено, что в событиях EPOS4 наблюдается несохранение электрического заряда Q и барионного числа B.

В UrQMD и PhQMD, как и в случае анализа сохранения энергии, имеем узкие пики с более чем 98% событий.

В данных EPOS4 обнаружены и единичные выбросы в ± 1 лептонное число L, но их число незначительно (порядка 1 на 10^4 сгенерированных событий). Для двух остальных генераторов такого не обнаружено.

Фильтрация “плохих” событий

Проведена проверка возможности отбрасывания “плохих” событий для pp столкновений. Для PhQMD и UrQMD идея применима ввиду малого числа событий с нарушениями законов сохранения, однако для EPOS4 их число велико.

Было выявлено, что в EPOS4 почти нет корреляций между несохранением различных величин. Таким образом, при попытках фильтрации по всем величинам мы теряем почти все сгенерированные события. Более того, было показано, что при фильтрации событий EPOS4 мы ухудшаем множественности итоговых частиц, что однозначно делает идею отбрасывания неприменимой.

Для столкновений ионов Xe-W фильтрация событий PhQMD по энергии оказалась невозможна из-за большой ширины пика (Рис. 5).

Выводы:

- При моделировании р-р столкновений с помощью EPOS4 обнаружены существенные нарушения законов сохранения энергии, барионного и электрического зарядов.
- Для UrQMD и PhQMD эти законы сохранения выполняются гораздо лучше, но наблюдается худшее совпадение распределений событий по числу рождающихся частиц с экспериментальными данными ALICE.
- Предложена идея фильтрации событий генераторов с отбрасыванием “плохих” событий, нарушающих законы сохранения. Показано, что для UrQMD и PhQMD она полезна, а для EPOS4 заметно ухудшает распределение множественности.
- Не подтвердилась гипотеза о влиянии квантовых гидродинамических эффектов на уширение распределения барионного заряда и энергии около точных значений.
- На примерах моделирования столкновений Xe-W показано, что при генерации событий в PhQMD выполнение закона сохранения энергии для малых систем (р-р) не гарантирует его выполнения в системах с тяжелыми ионами (наблюдается десятипроцентное уширение в столкновениях Xe-W).

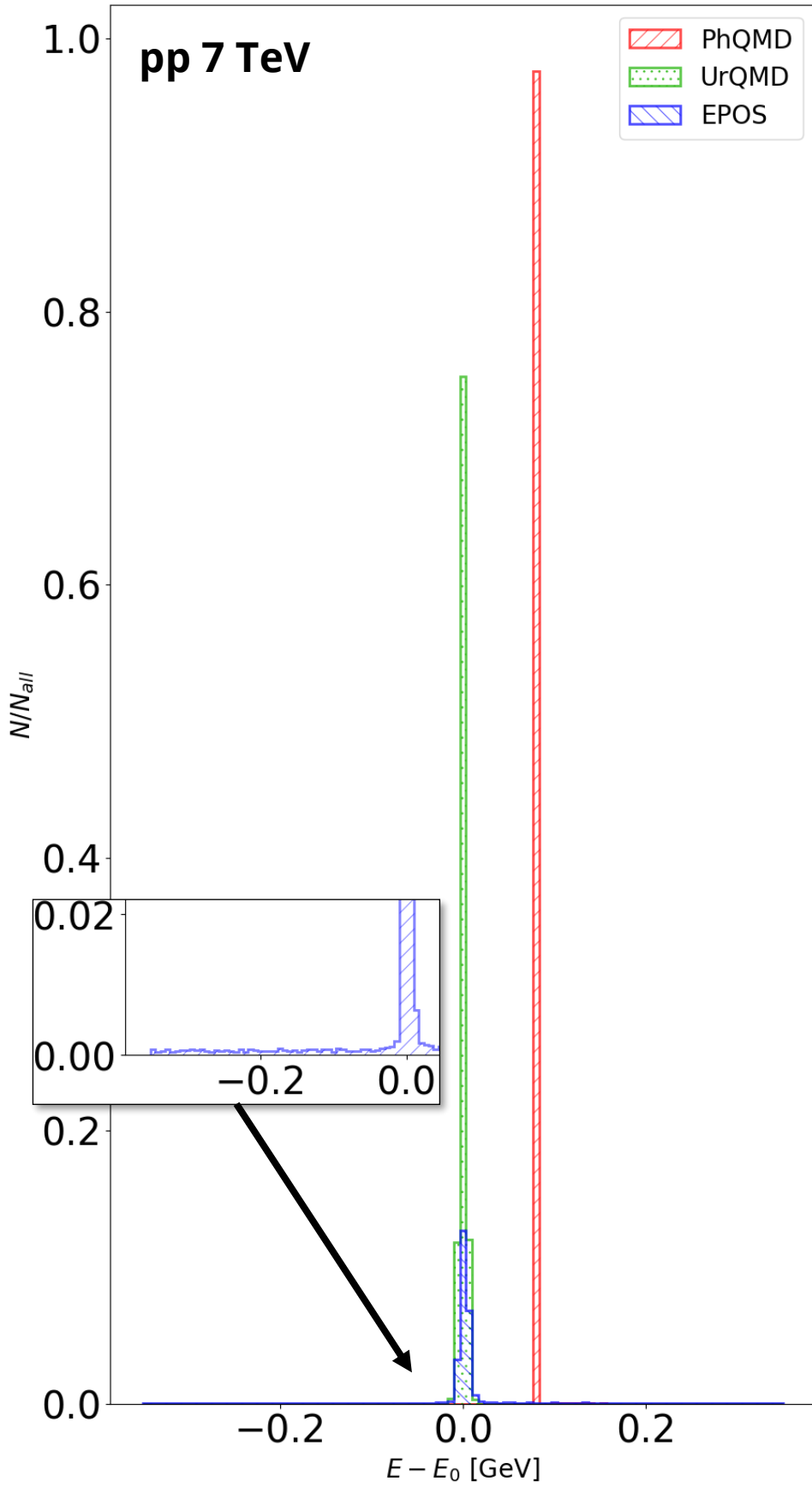


Рис. 1

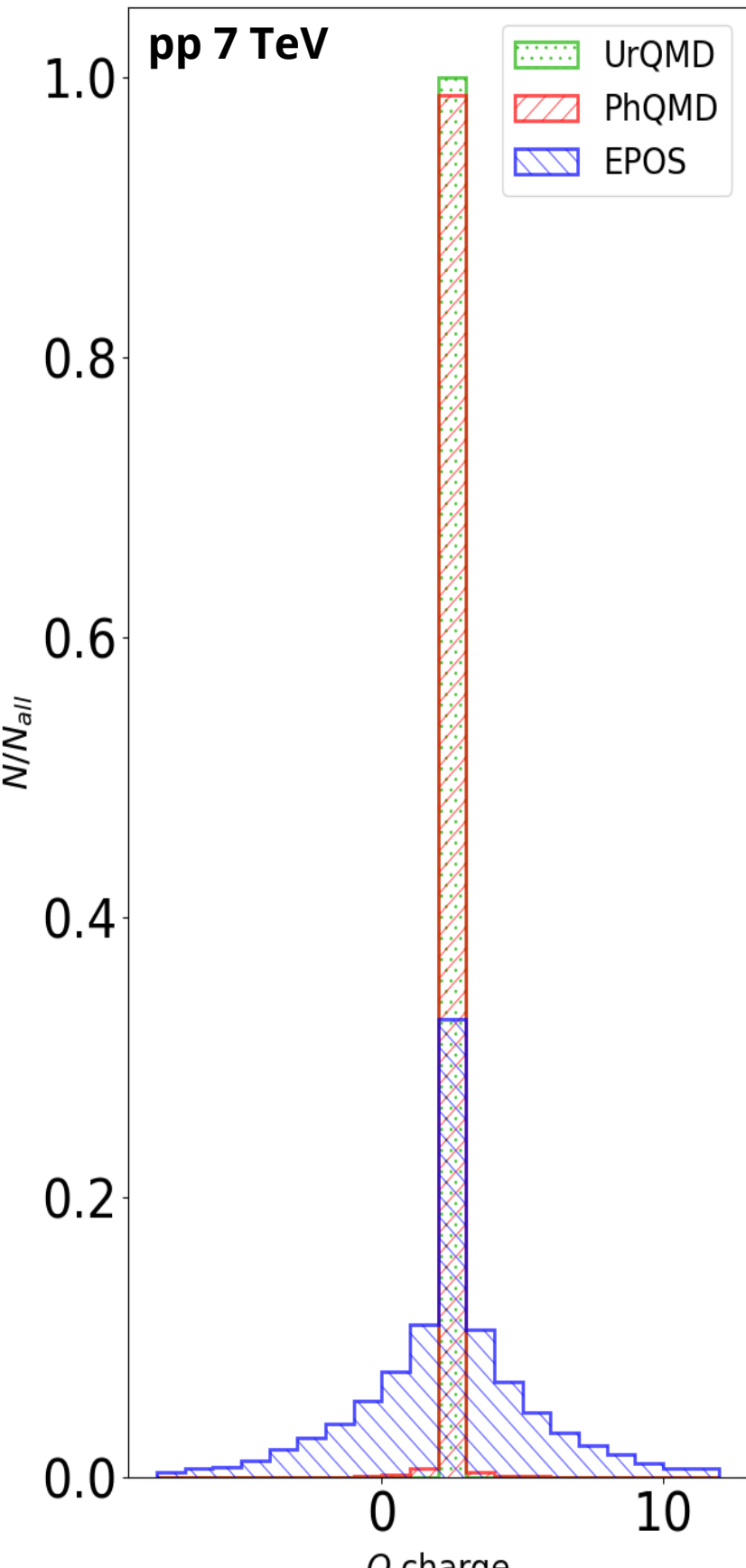


Рис. 2

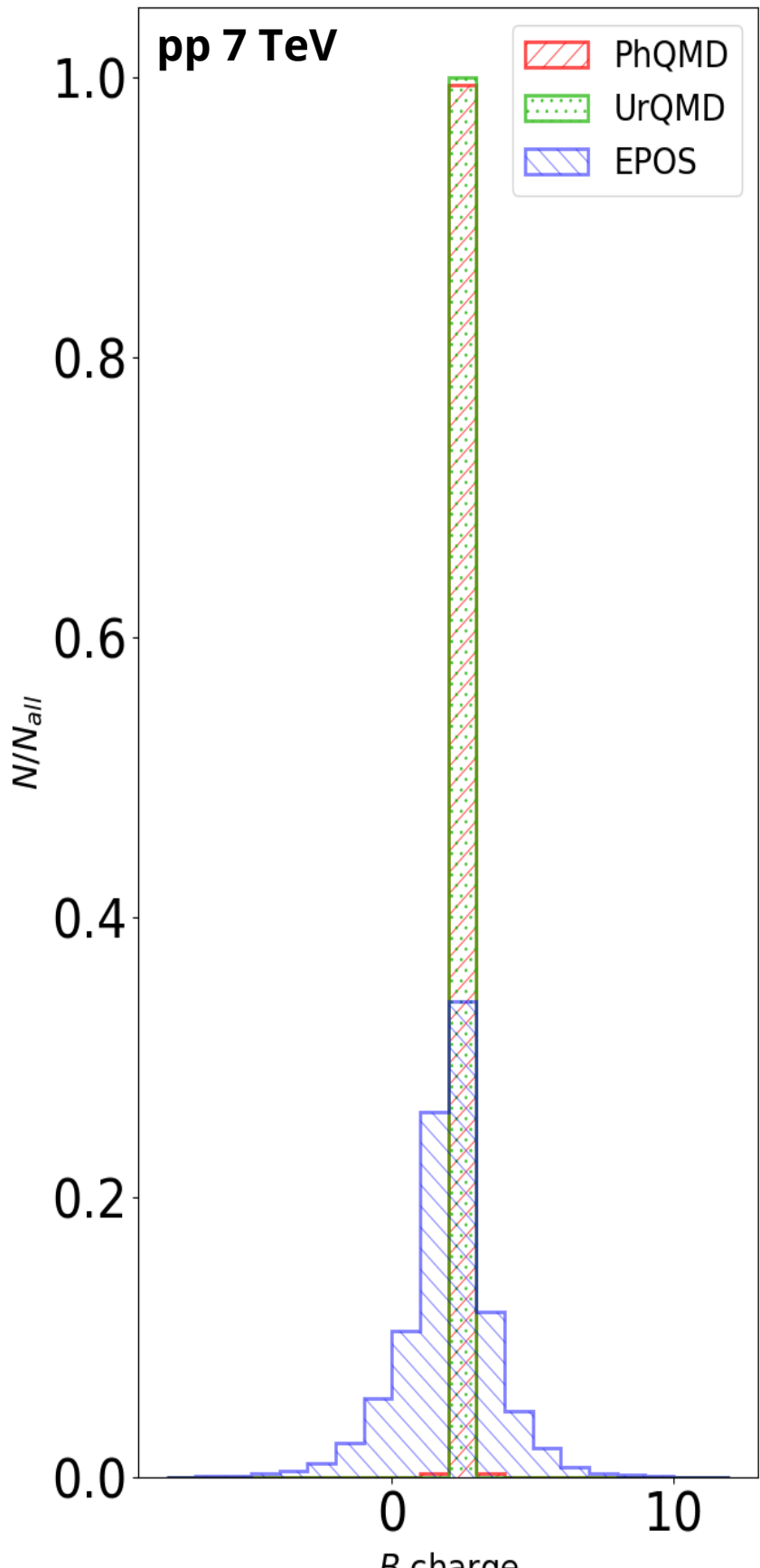


Рис. 3

Изучение распределения множественности заряженных частиц для (pp 7 ТэВ)

Распределения заряженных вылетающих частиц по их псевдобыстротам, полученные с помощью моделирования в EPOS4, PhQMD и UrQMD, сравнивались с данными ALICE [4] (Рис. 4).

Наилучшее совпадение имеет распределение, созданное при помощи EPOS4. Генераторы PhQMD и UrQMD имеют высокий пик в “нуле”, который пусть и имеется в экспериментальном распределении, но должен быть в несколько раз меньше.

Выявлено, что попытки отбрасывания EPOS4-сгенерированных событий, в которых законы сохранения не выполняются, не позволяют улучшить статистику. Для точности вывода данная процедура была проделана в том числе на большом числе событий ($35 \cdot 10^5$) – увеличение объема данных не улучшило фильтрованное распределение.

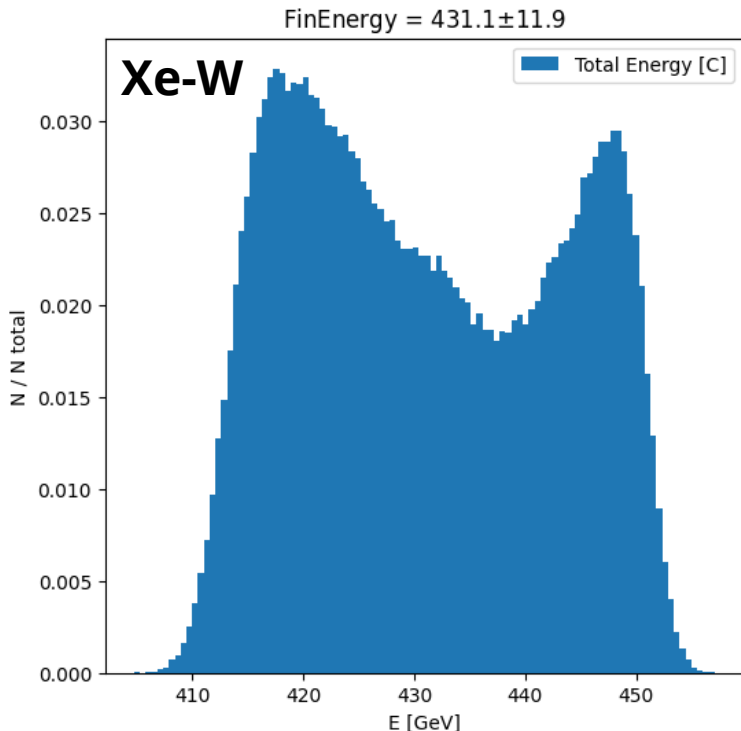


Рис. 5

Проверки для Xe-W

Моделирование столкновений Xe-W при помощи PhQMD показало точное сохранение зарядов Q, B, L, но наблюдалось десятипроцентное уширение распределения по энергии (Рис. 5).

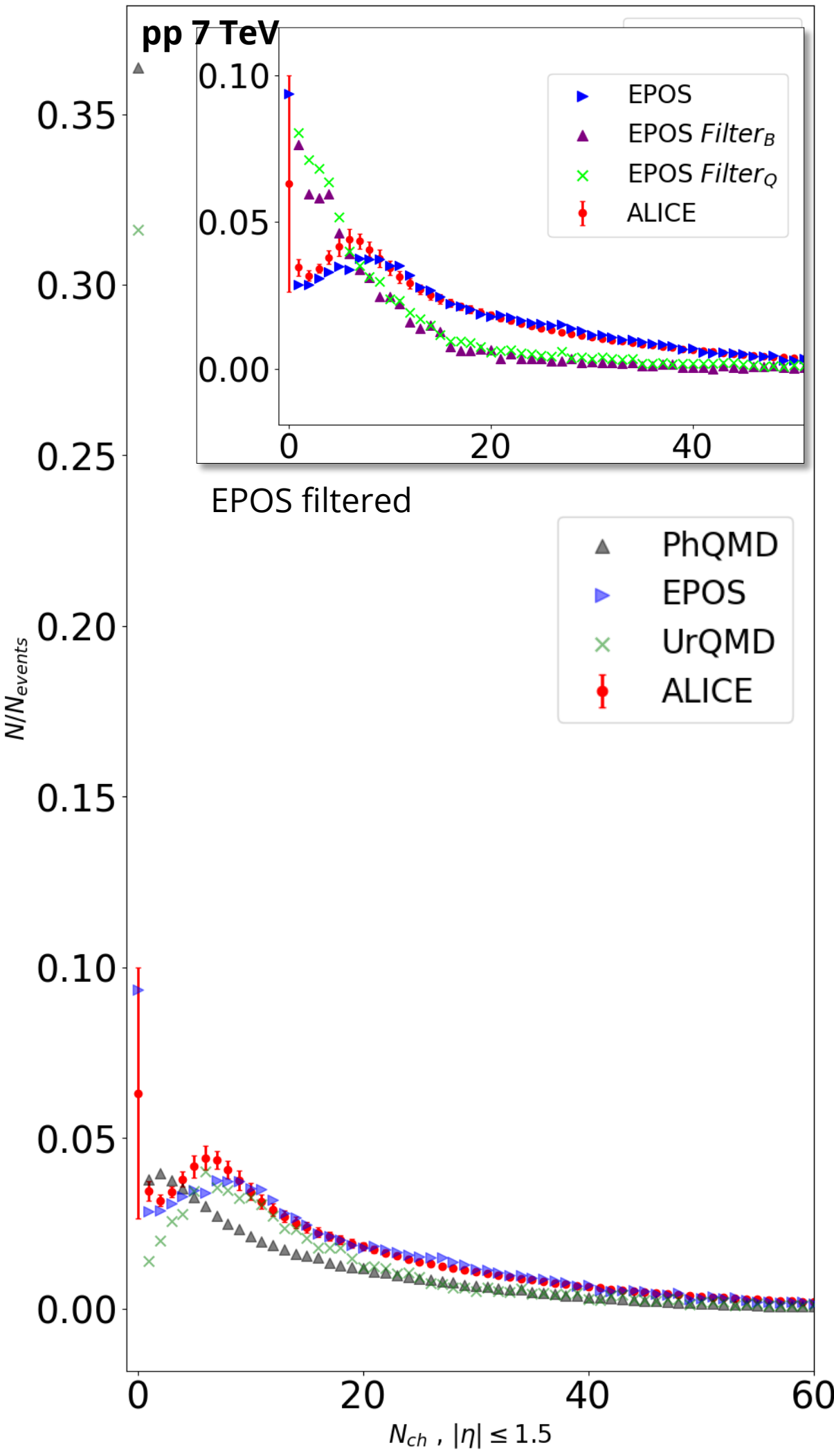


Рис. 4

Работа выполнена при поддержке СПбГУ, шифр проекта 103821868.

1. K. Werner. Phys.Rev. C **108**, 064903 (2023).
2. S. A. Bass et al. Progress in Part. Nucl. Phys. **41**, 225 (1998).
3. J. Aichelin, et al. Phys.Rev.C **101**, 044905 (2020).
4. Adam J. et al. (ALICE Collaboration). Europ. Phys. J. C, **77**,1 (2017).

Nucleus
2025

