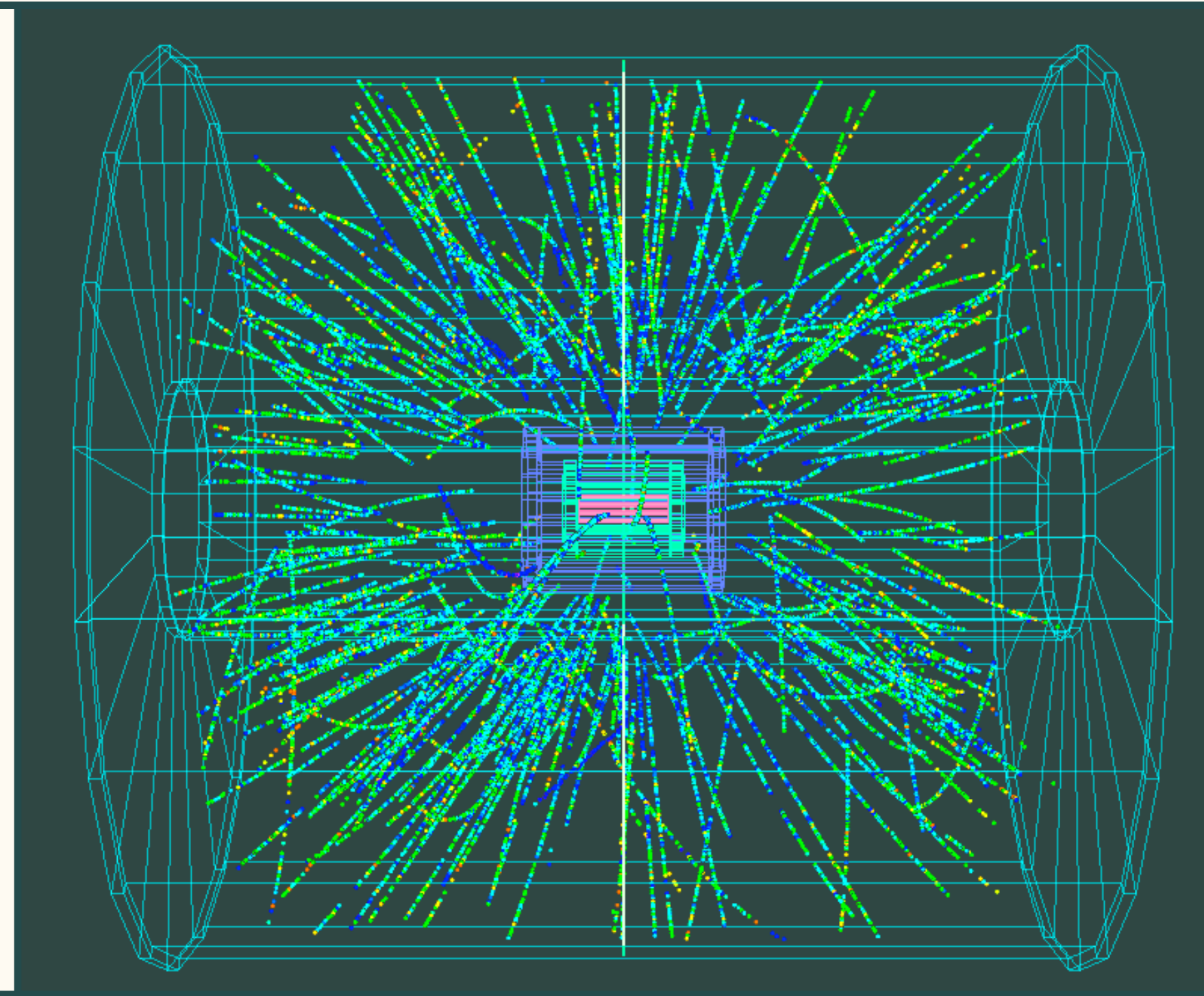




Сессия-конференция секции ядерной физики ОФН
РАН, посвященная 70-летию В.А. Рубакова

01

Множественное рождение частиц в $p+A$ столкновениях в рамках модифицированной модели Глаубера



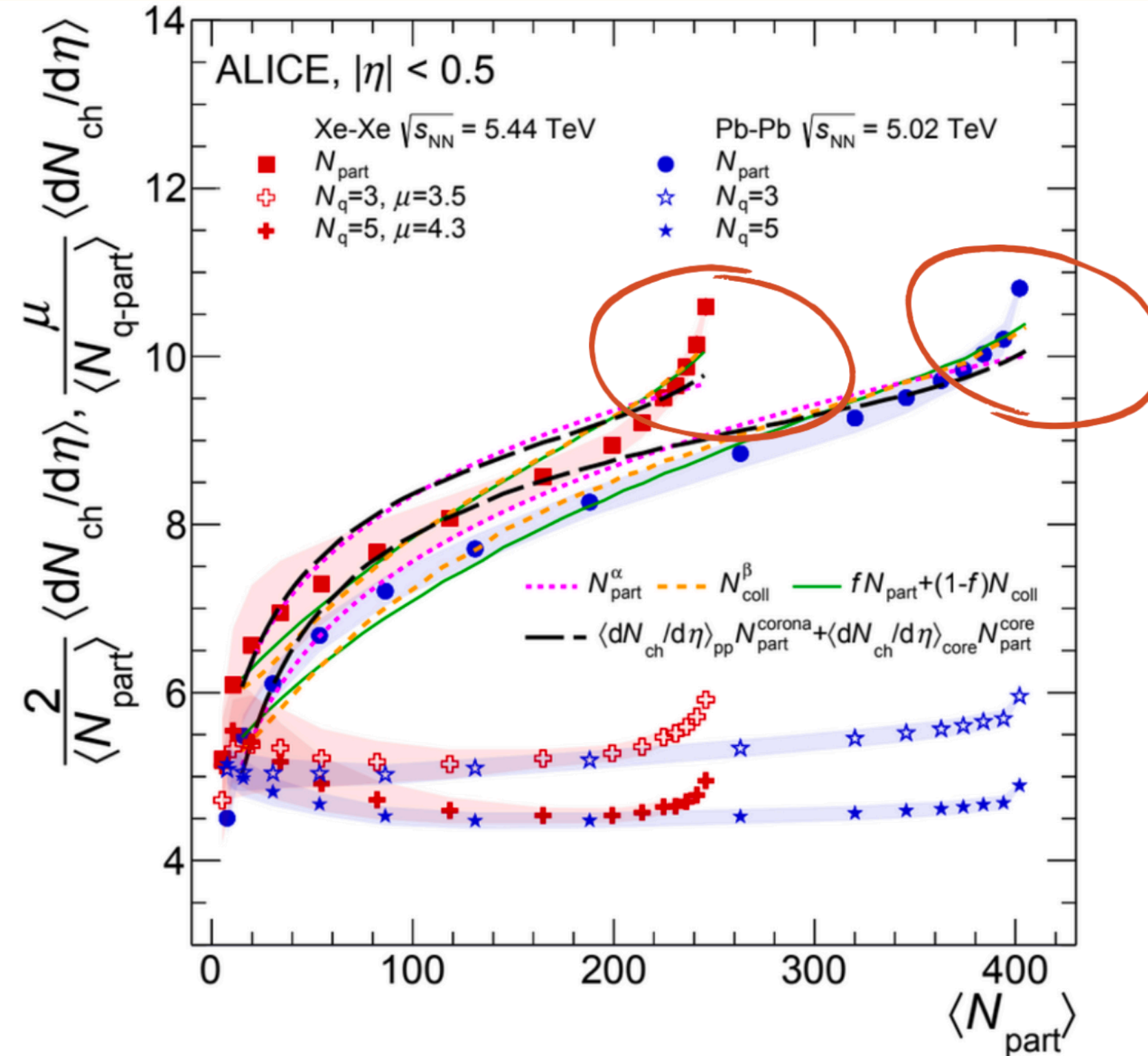
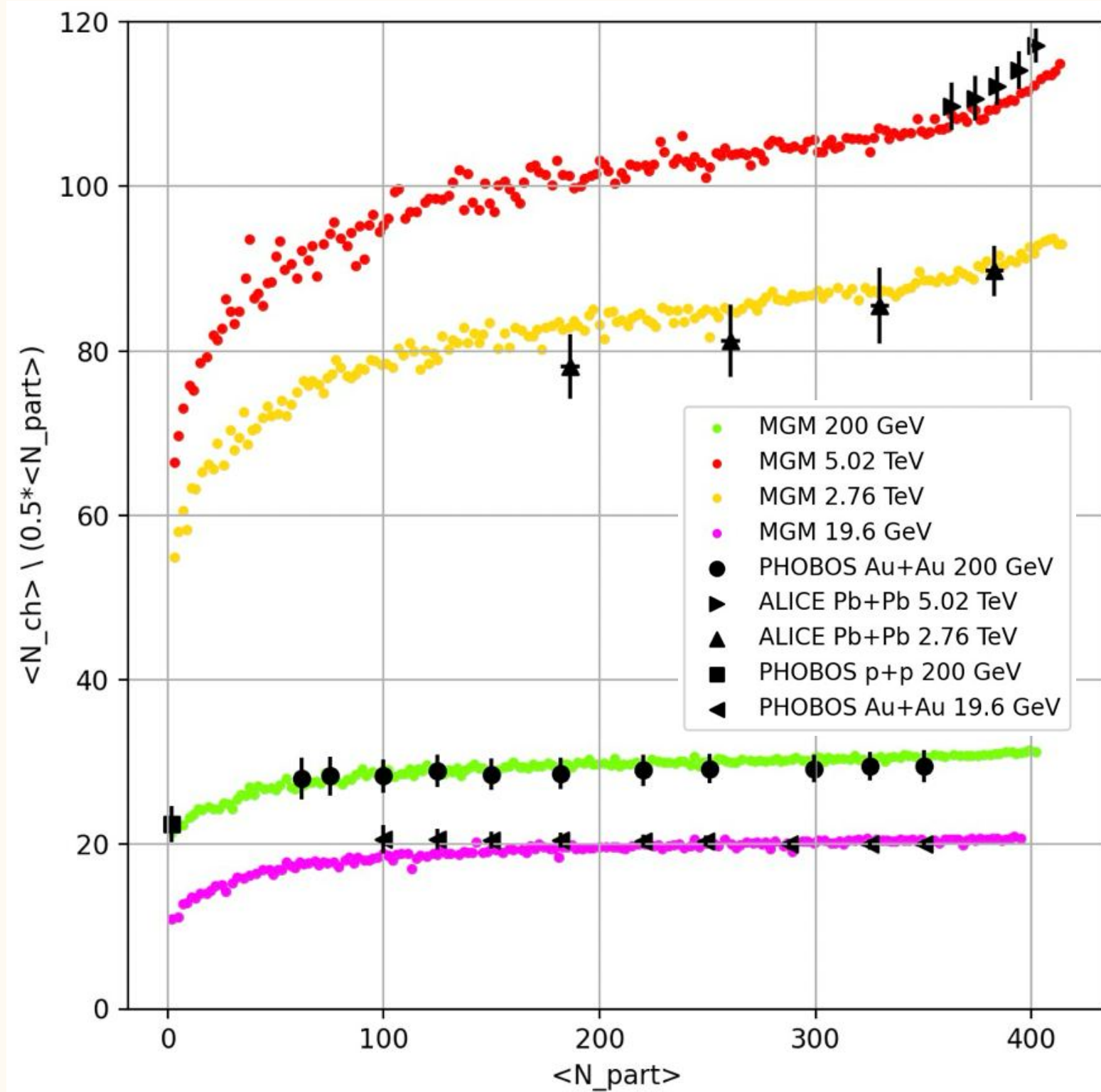
<http://rubakov70.inr.ac.ru/>

Симак Светлана Владимировна
Феофилов Григорий Александрович

s.simak@spbu.ru
g.feofilov@spbu.ru

Мотивация

02



Модифицированная модель Глаубера (MGM) позволила нам объяснить [1] как эффект скейлинга с числом нуклонов-участников, так и отклонение от скейлинга множественности, нормированной на число пар нуклонов-участников (N_{part}) на высоких энергиях

Применение MGM показывает гораздо меньшее число бинарных столкновений в сравнении с SGM

[1] С. Симак, Г. Феофилов, Учет потерь энергии в рамках модифицированной Монте-Карло модели Глаубера, ЭЧАЯ
 [2] Feofilov G., Ivanov A., Journal of Physics G CS. 5. 2005. P. 230-237.2.
 [3] Feofilov G., Seryakov A., AIP Conference Proceedings. 2016.1701.1. P. 07000

Centrality and pseudorapidity dependence of the charged-particle multiplicity density in Xe-Xe collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.44$ TeV, ALICE Collaboration

Мы хотим применить данный подход для p+A столкновений

Стандартная модель Глаубера (SGM)

03

1. Сечение неупругого нуклон-нуклонного столкновения - константа

$$\sigma_{inel}^{NN} = const$$

2. Средняя множественность в каждом нуклон-нуклонном столкновении - константа:

$$\langle N_{ch}^{NN} \rangle = const$$

3. Нуклоны движутся по прямым траекториям с неизменным импульсом:

$$P_i = const$$

Считается, что два нуклона сталкиваются, если их прицельный параметр удовлетворяет:

$$b < \sqrt{\frac{\sigma_{NN}}{\pi}}$$

Симак С.В., Феофилов Г.А.

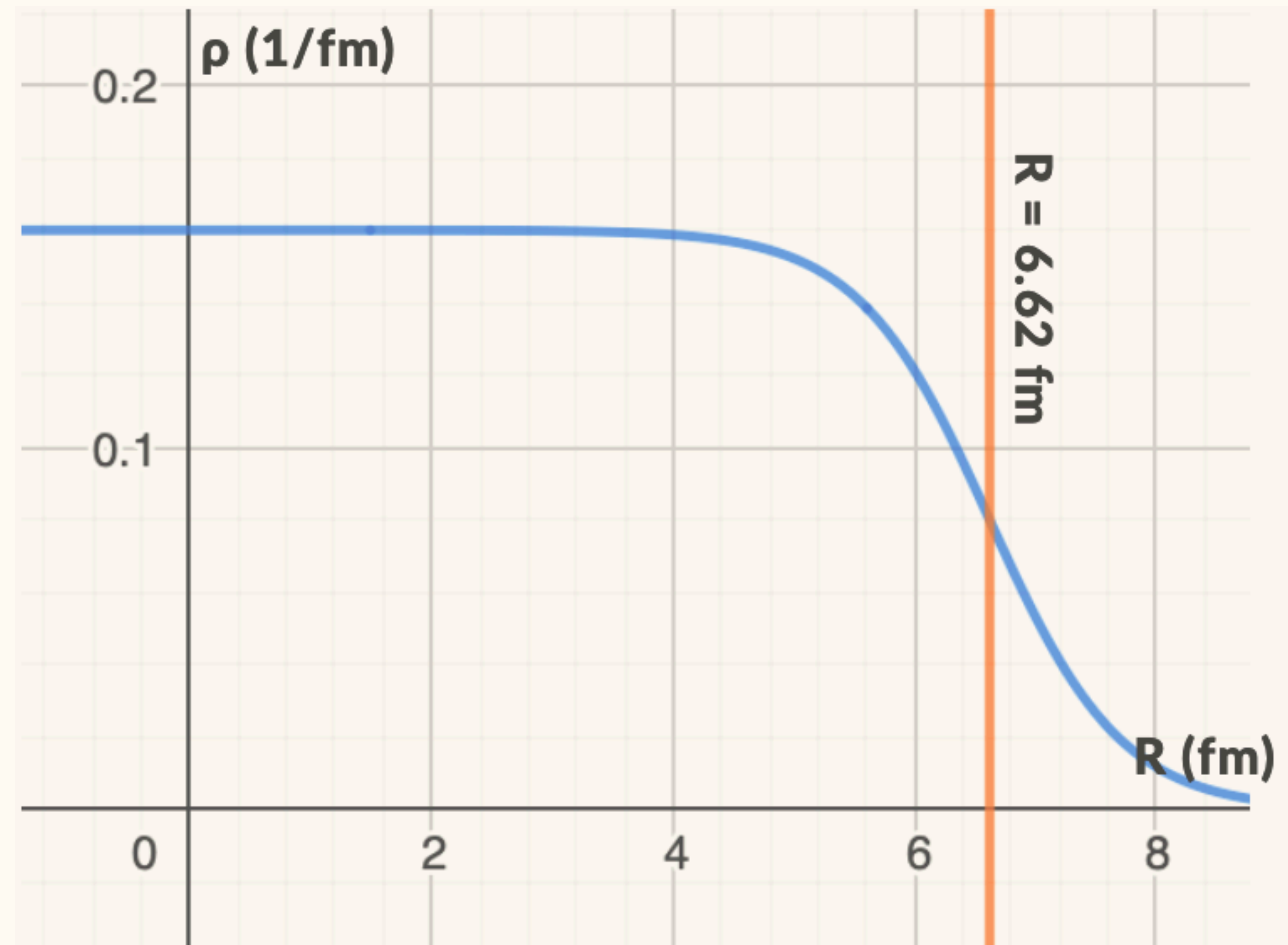
s.simak@spb.ru

Распределение нуклонов в ядре

04

$$\rho(r) = \rho_0 \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{r-R}{a}\right)}$$

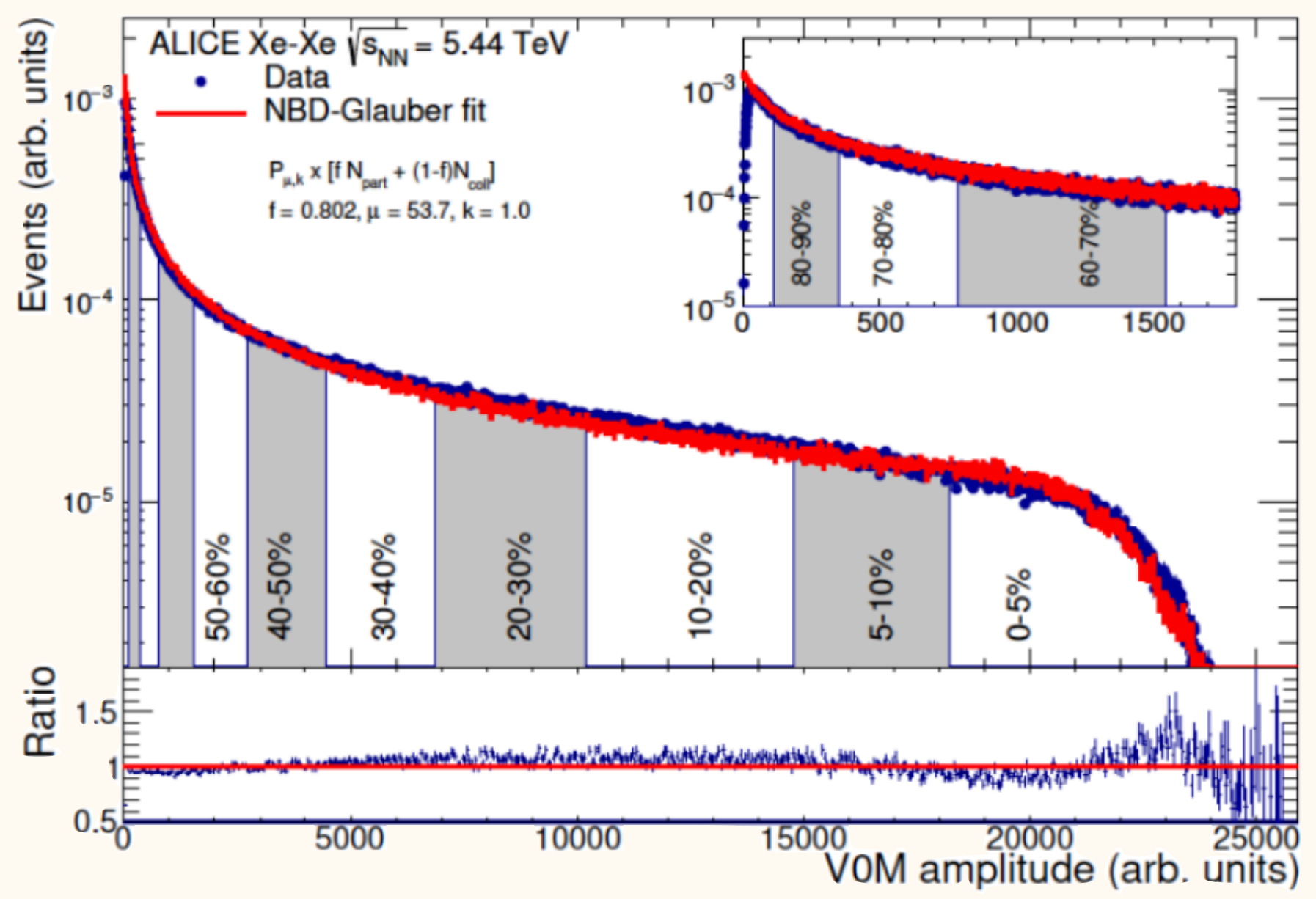
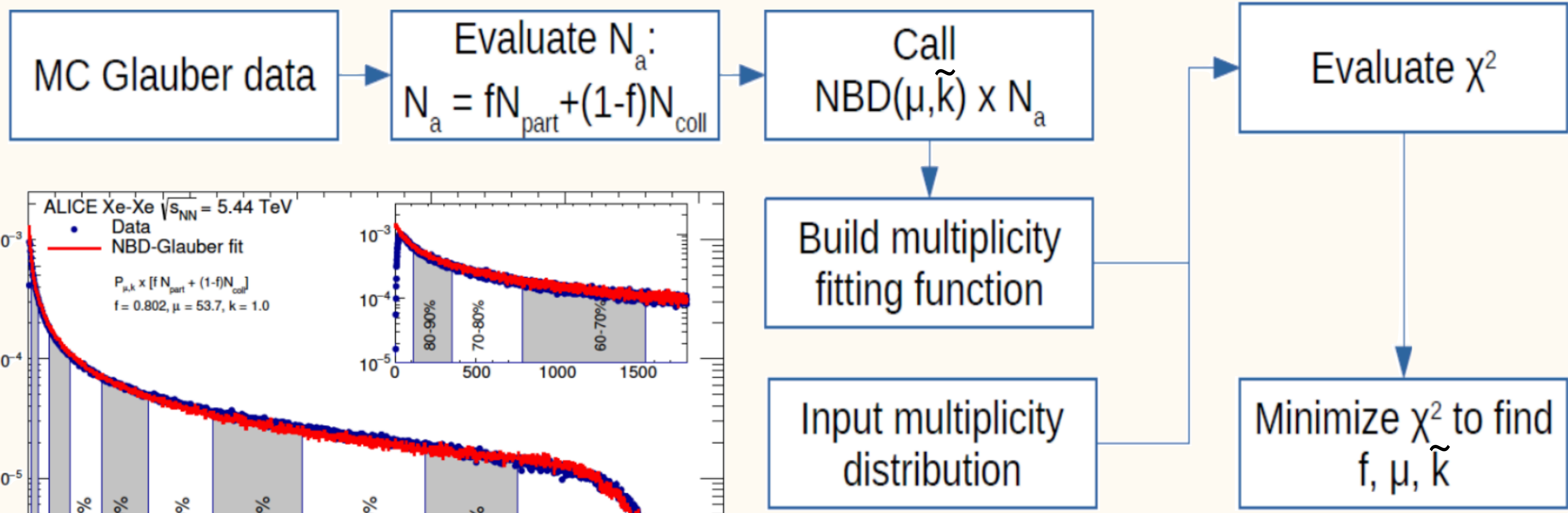
	a, фм	R, фм
Pb-208	0.546	6.62
Au-197	0.535	6.38



Симак С.В., Феофилов Г.А.

s.simak@spbu.ru

Стандартная модель Глаубера (SGM)



ALICE-PUBLIC-2018-003 Title Centrality determination using the Glauber model in Xe-Xe collisions at $\sqrt{s_{NN}}=5.44$ TeV

NBD – negative binomial distribution
 Parameters of the fit:

- **f** – fraction of the production from the soft component
- **μ** – mean multiplicity value
- **\tilde{k}** – width of the multiplicity distribution, can be connected to the fluctuations

Ncoll

Npart

Центральность

Мотивация для p+A

06

Для исследования коллективных эффектов в ядроядерных столкновениях широко используется фактор ядерной модификации (R_{AA}), в котором содержится нормировка на число бинарных нуклон-нуклонных столкновений:

$$R_{AA} = \frac{d^2 N_{ch}^{AA} / dp_t d\eta}{\langle N_{coll}^{AA} \rangle d^2 N_{ch}^{pp} d^2 N_{ch}^{AA} / dp_t d\eta}$$



$$R_{pA} = \frac{d^2 N_{ch}^{pA} / dp_t d\eta}{\langle N_{coll}^{pA} \rangle d^2 N_{ch}^{pp} d^2 N_{ch}^{pA} / dp_t d\eta}$$

Более простая взаимосвязь величин:

$$N_{coll} = N_{part} - 1$$



Модифицированная модель Глаубера (MGM)

07

Первое столкновения рассчитывается следующим образом:

1. Начальные импульсы нуклонов

$$P_1 = -P_2 = \sqrt{\left(\frac{\sqrt{s}}{2}\right)^2 - m^2}, \text{ где } P_1, P_2 \text{ - импульсы нуклонов, движущихся противонаправленно}$$

2. Импульсы нуклонов после столкновения:

$$P_1' = k \cdot P_1, P_2' = k \cdot P_2$$

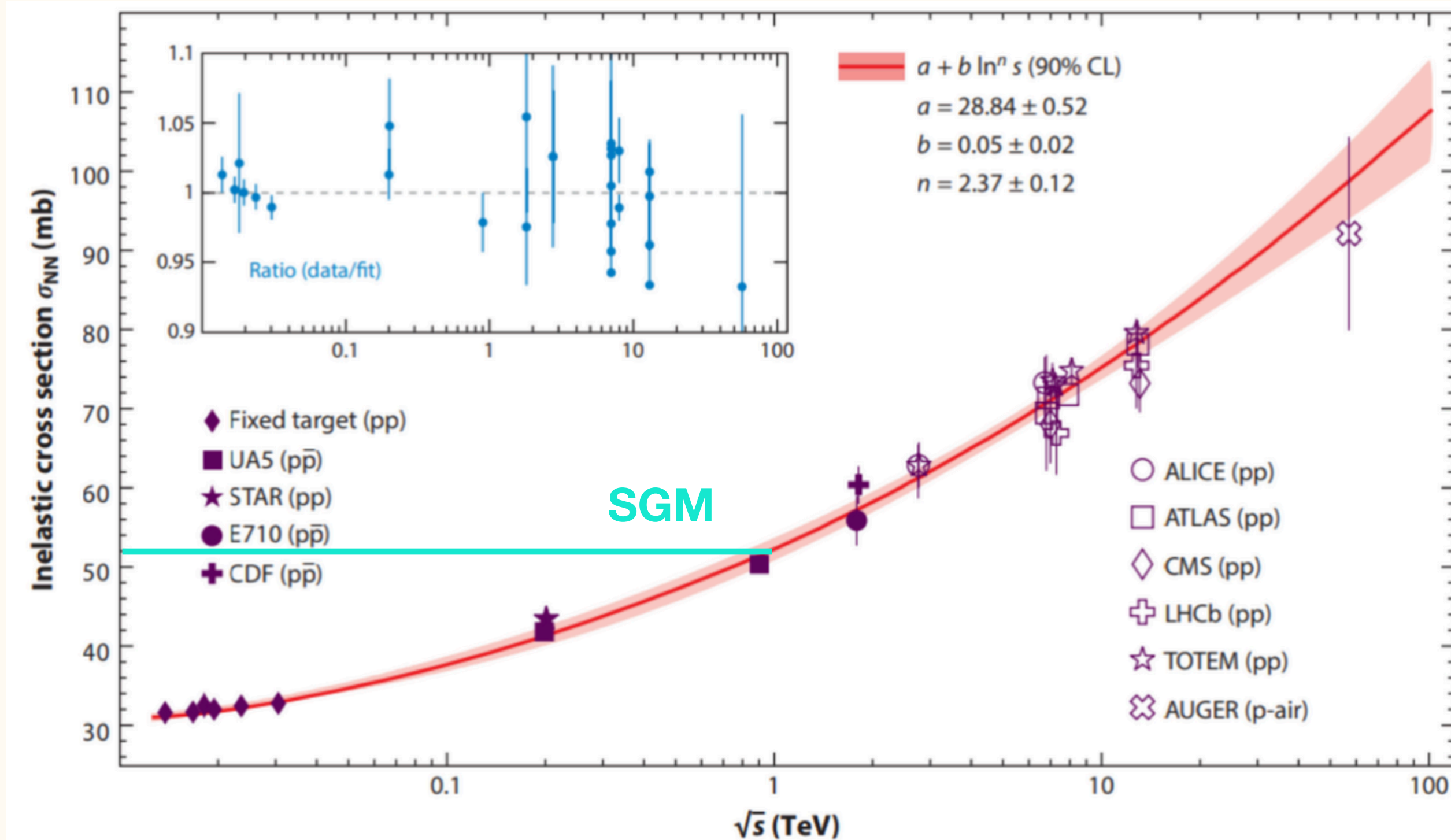
Для расчета дальнейших столкновений мы переходим в систему центра масс двух нуклонов и пересчитываем импульсы в ней:

$$\hat{P}_{1 CM} = k \cdot P_{1 CM}, \hat{P}_{2 CM} = k \cdot P_{2 CM}$$

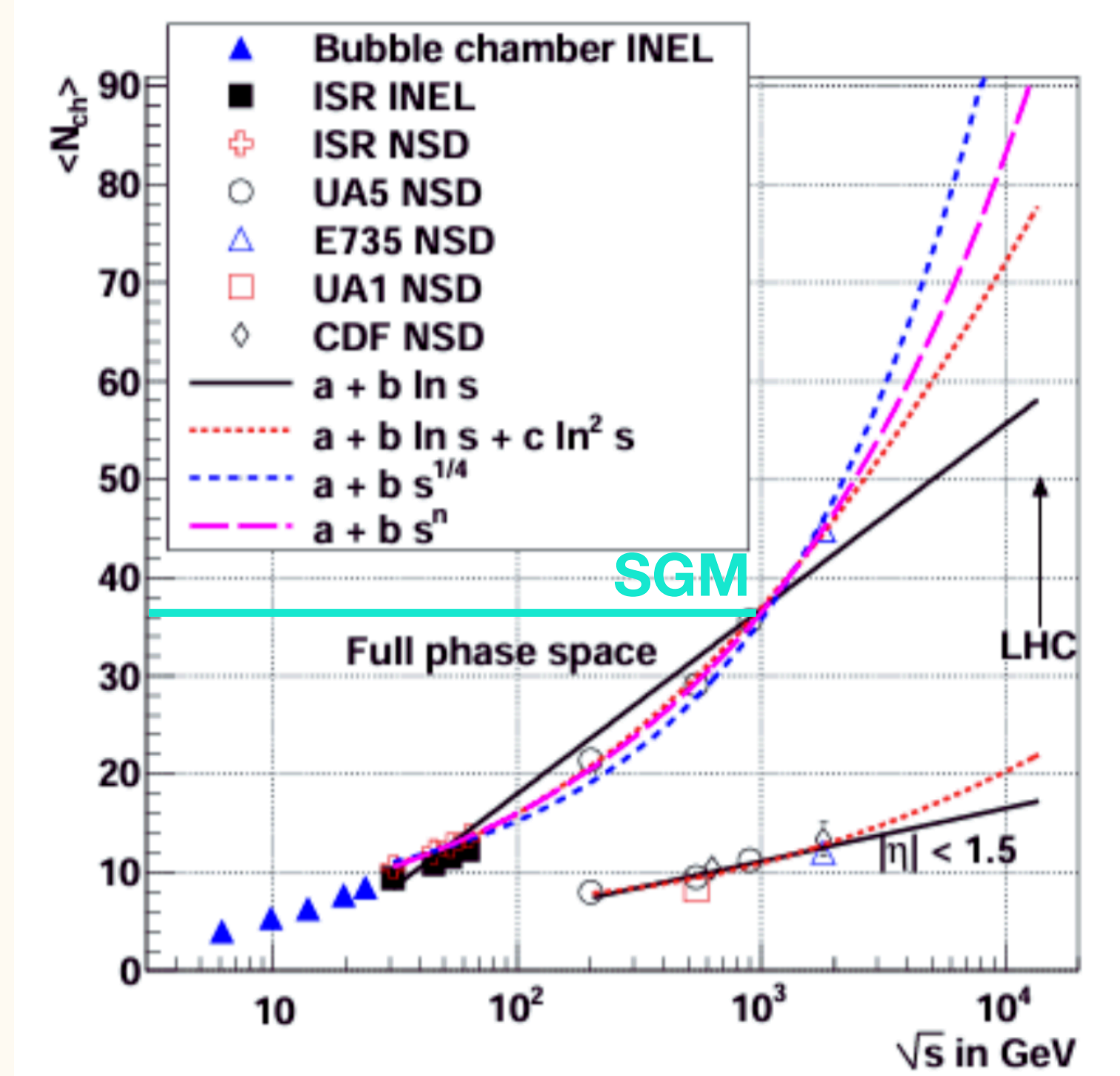
Далее возвращаемся в изначальную систему отсчета;

(1-k) - средняя доля потерянного импульса в каждом нуклон-нуклонном столкновении

Сечение и множественность в последовательных NN столкновениях



Loizides C., Phys. Rev. C. 94. 2016. P. 024914

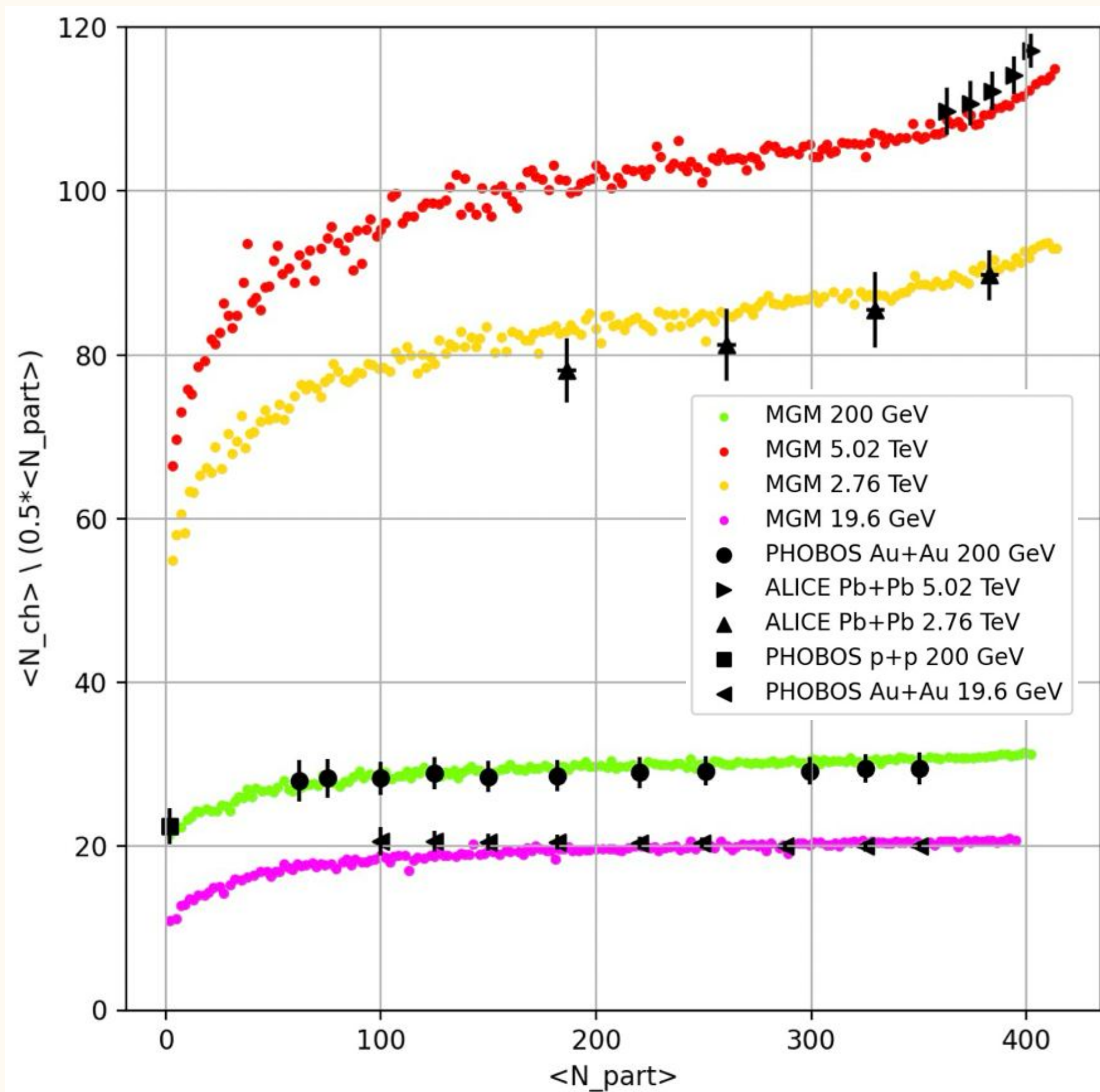


Grosse-Oetringhaus J. Fiets, Reygers K., J.Phys. G37. 2010. P. 083001.

В последовательных нуклон-нуклонных столкновениях в MGM уменьшается сечение нуклон-нуклонного взаимодействия и средняя множественность в каждом нуклон-нуклонном столкновении в связи с потерями энергии

Выбор единственного параметра k

09



В каждом нуклон-нуклонном столкновении определяется средняя множественность:

$$\langle N_{ch}^{pp} \rangle = a + b \cdot \ln(s) + c \cdot \ln^2(s)$$

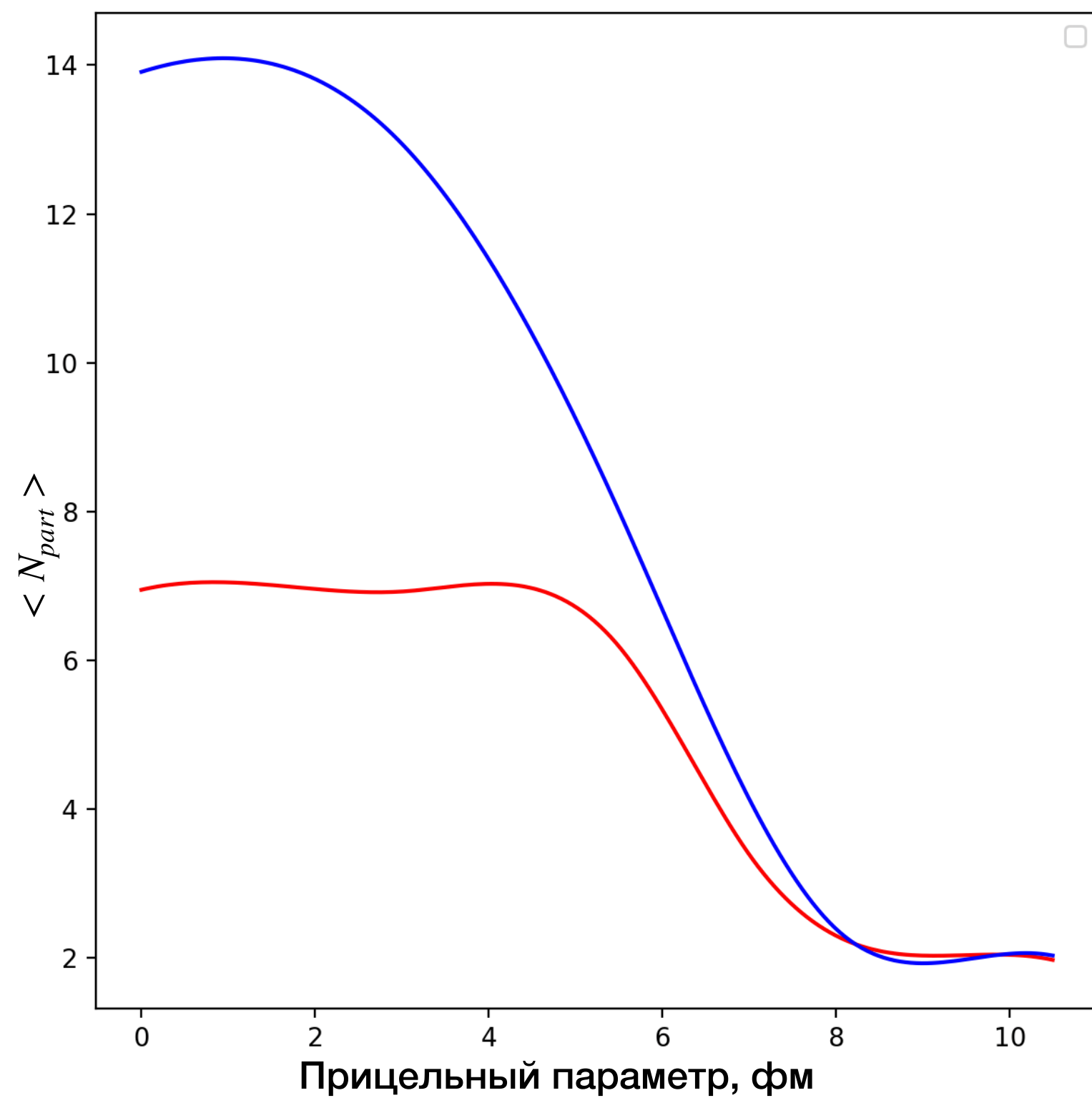
Grosse-Oetringhaus J. Fiete, Reygers K., J.Phys. G37. 2010. P. 083001.

Опираясь на данные множественности от центральности, минимизируем χ^2 для различных диапазонов энергий

Результаты расчета количества нуклонов-участников

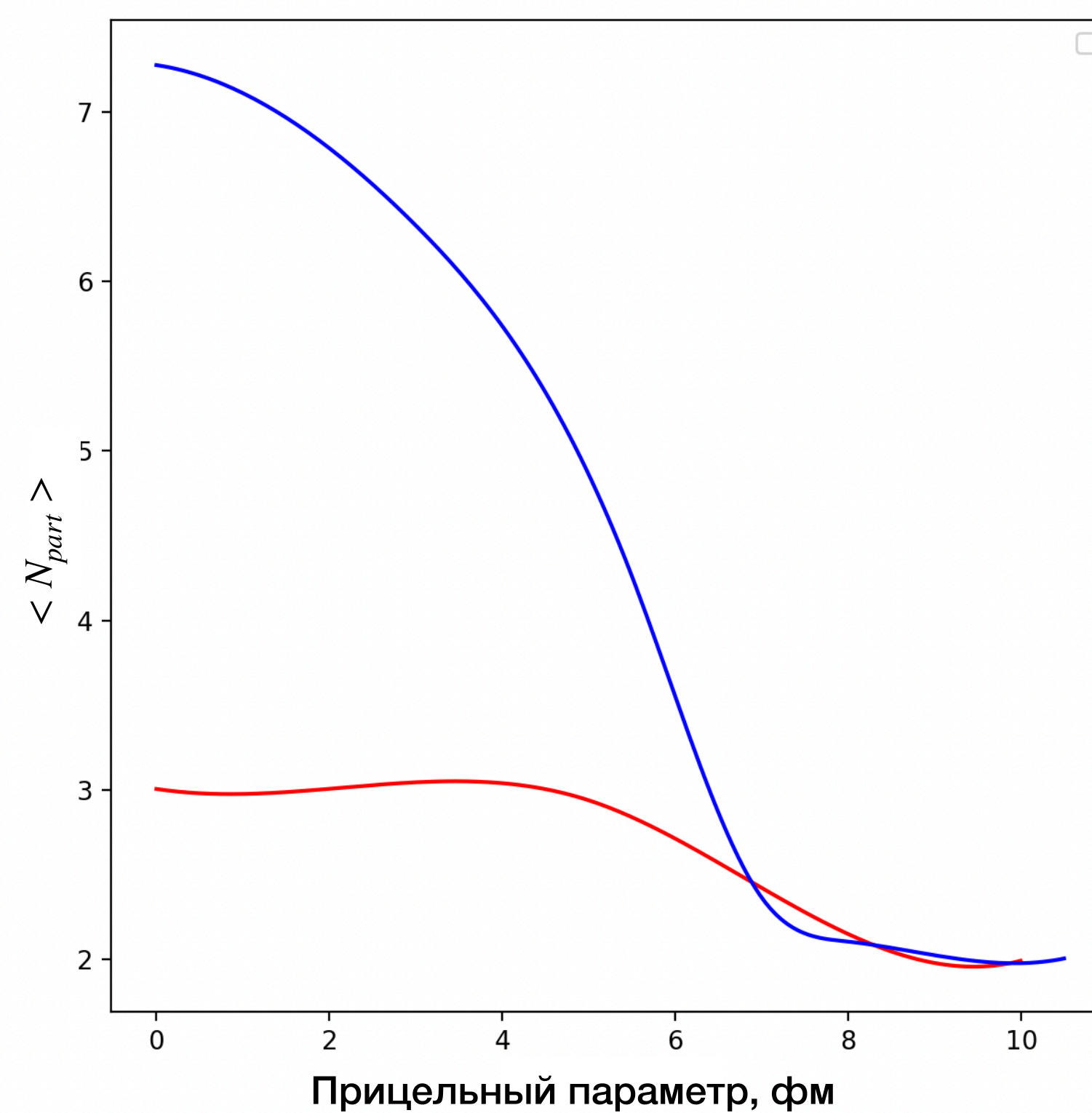
10

p+Pb 5023 GeV



- Стандартная модель Глаубера
- Модифицированная модель Глаубера $k = 0.2$

p+Au 10 GeV

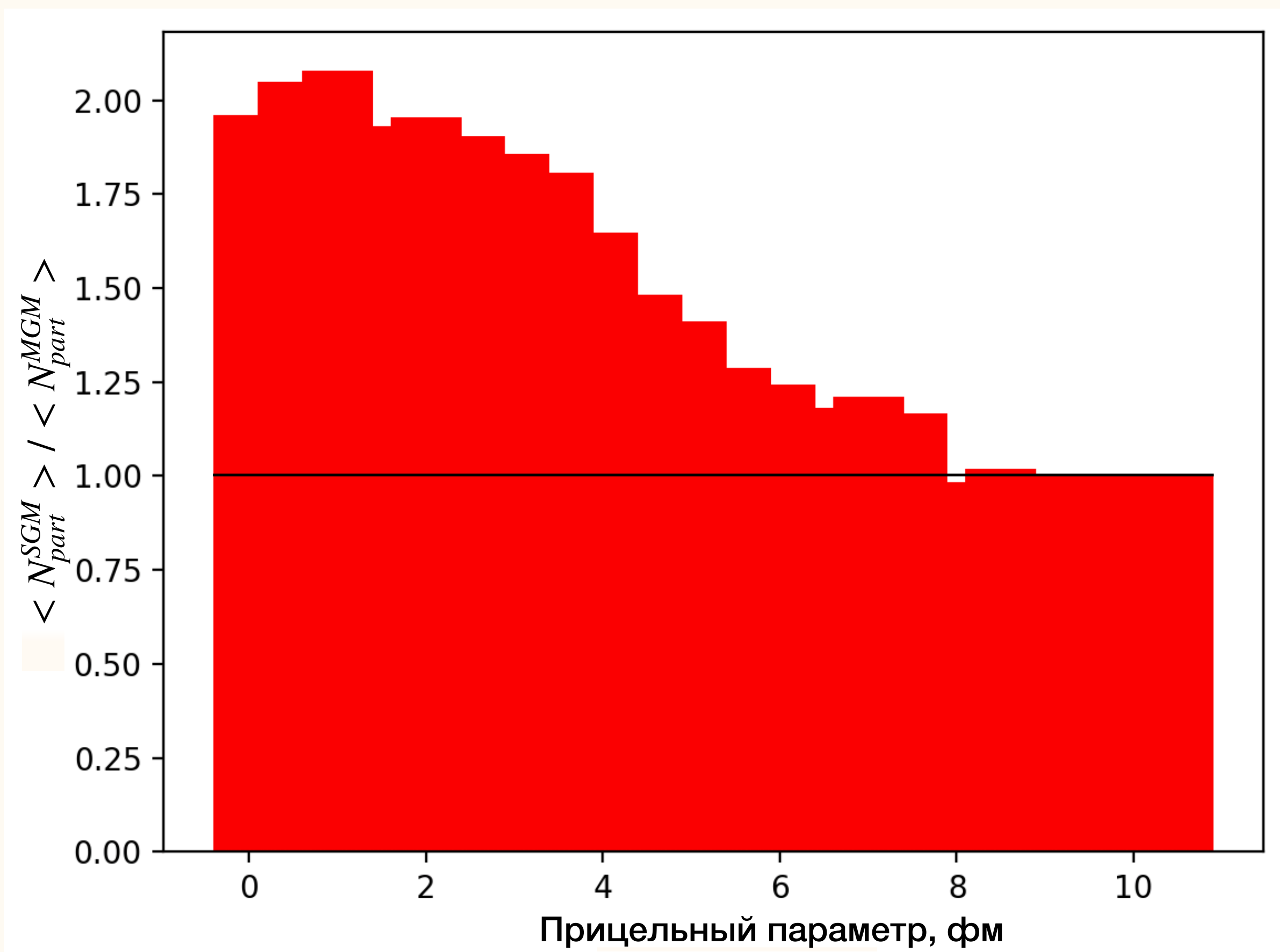


- Стандартная модель Глаубера
- Модифицированная модель Глаубера $k = 0.1$

Получаем гораздо меньше число нуклонов-участников !

Результат: N_{part} в SGM и MGM

Сравнение N_{part} в SGM и MGM для p+Pb 5023 GeV

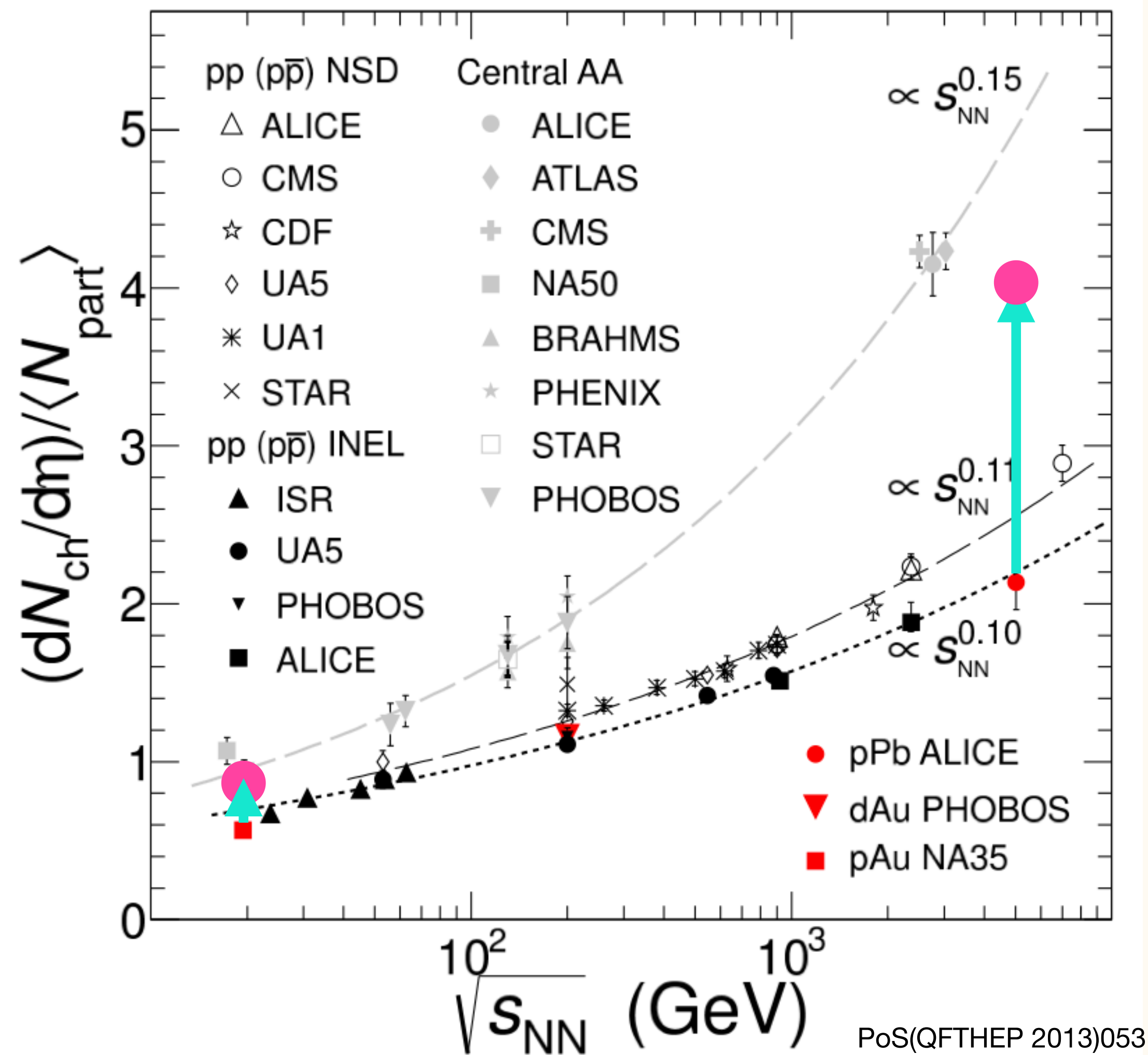
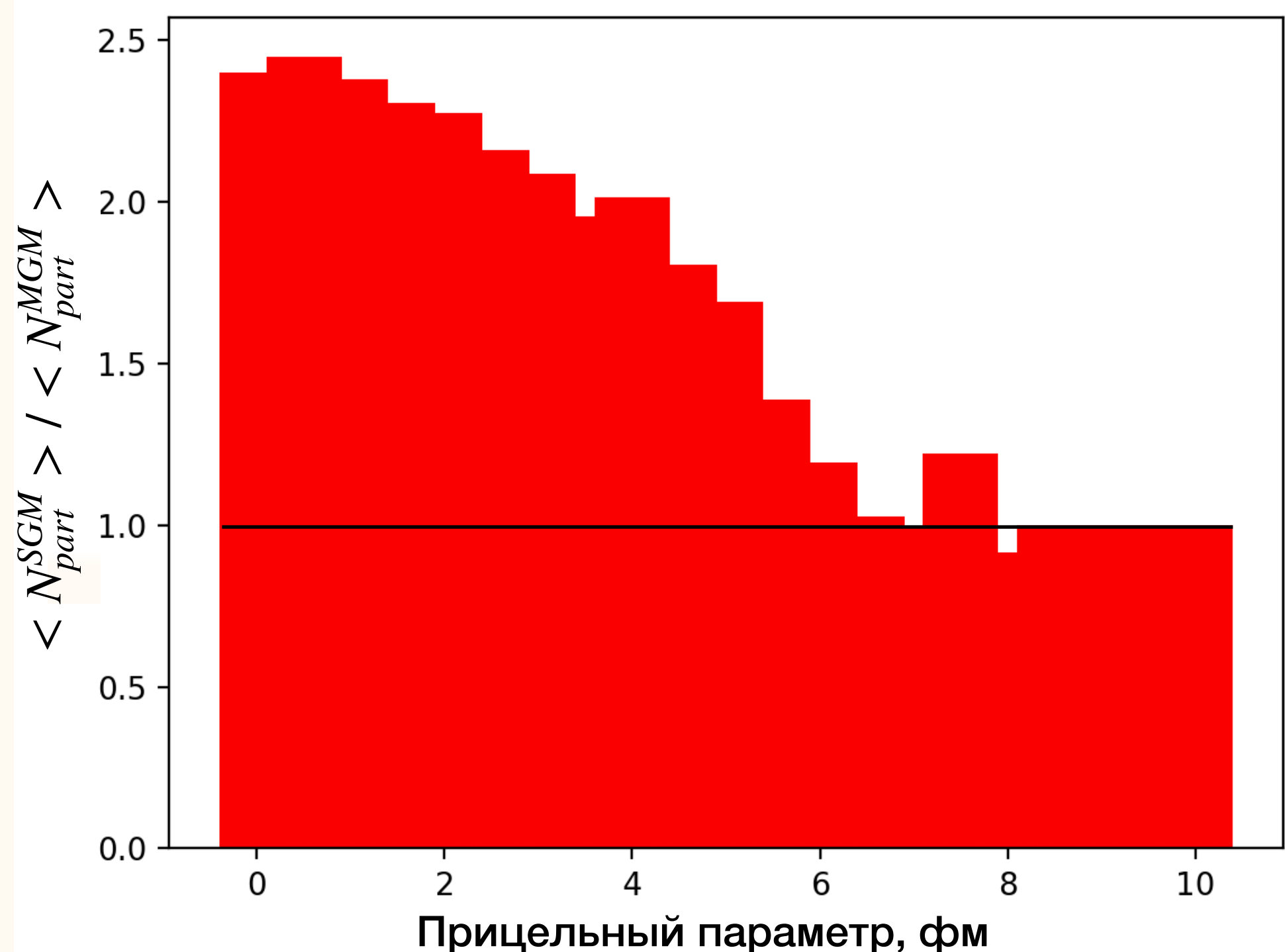


Модель	$\langle N_{part} \rangle$
SGM	7.9 ± 0.6 PoS(QFTHEP 2013)053
MGM	5.0 ± 0.5

$$R_{pA} = \frac{d^2 N_{ch}^{pA} / dp_t d\eta}{\langle N_{coll}^{pA} \rangle d^2 N_{ch}^{pp} d^2 N_{ch}^{pA} / dp_t d\eta}$$

Результат: N_{part} в SGM и MGM

Сравнение N_{part} в SGM и MGM для **p+Au 10 GeV**



● - перерасчет в рамках MGM

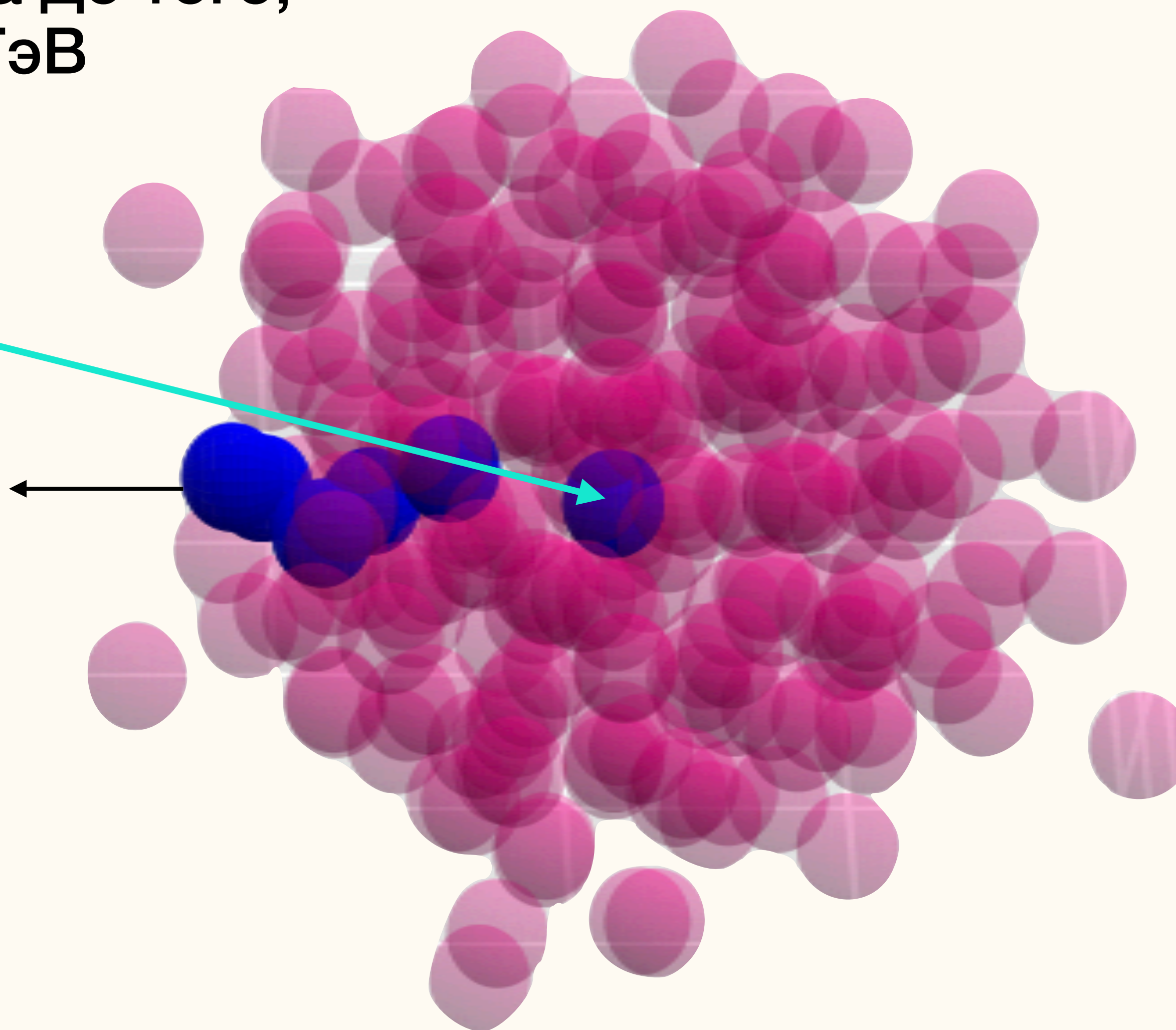
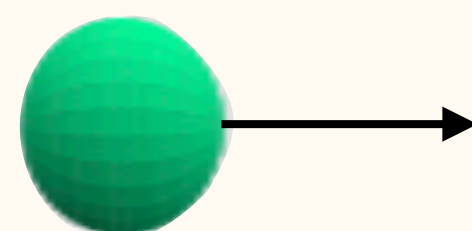
Стоппинг нуклонов

13

Дальность пролёта нуклона до того,
как его энергия станет < 2 ГэВ

Пример:

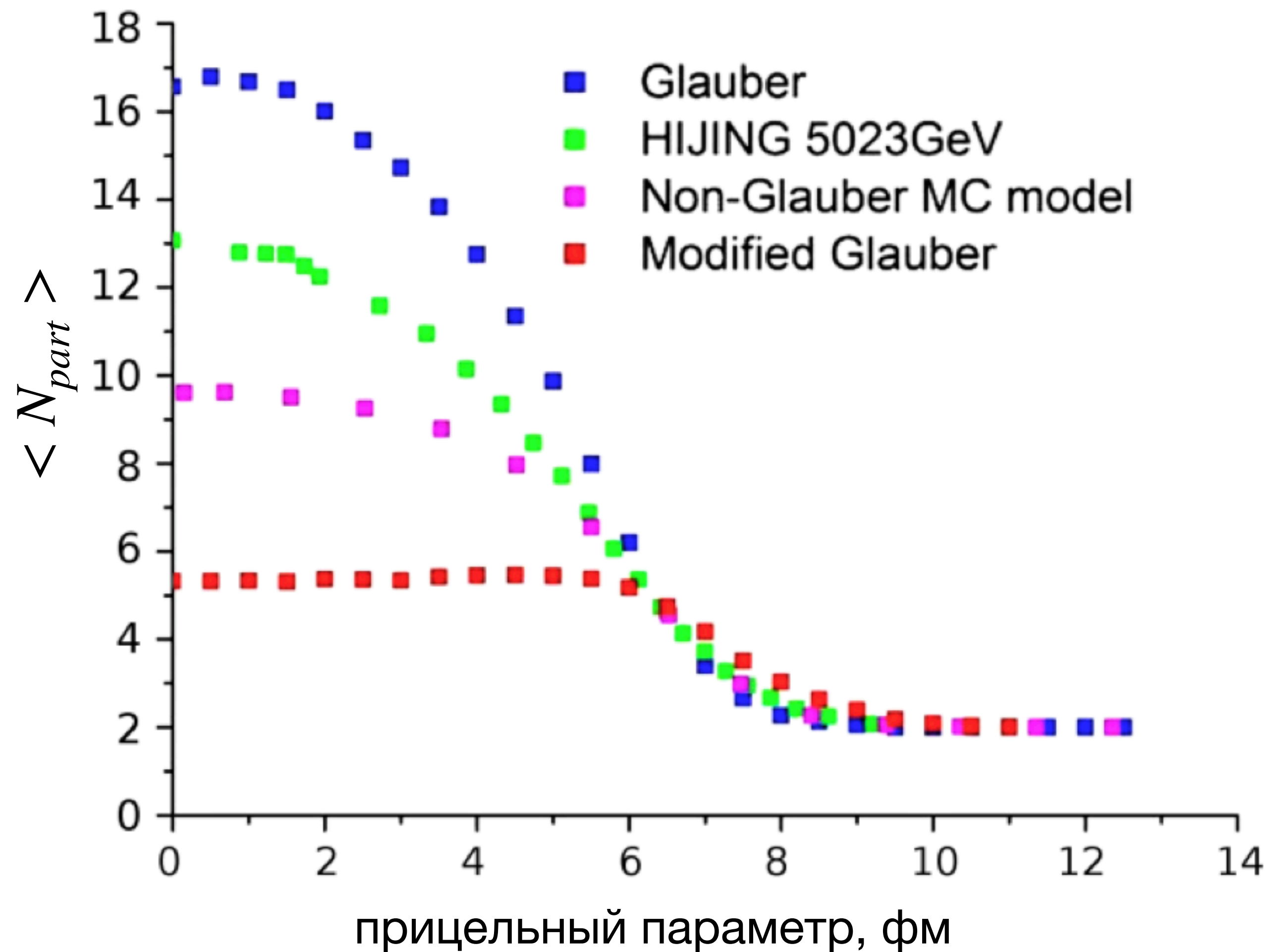
После столкновения с этим
нуклоном энергия протона
станет < 2 ГэВ



$p+Pb$ 5020 ГэВ - $k = 0.2$

Сравнение с другими подходами

14



Другие модели, учитывающие законы сохранения энергии и импульса также дают меньшее число нуклонов-участников

Geometric properties and charged particles yields behind Glauber model in high energy pA and AA collisions
Т. Дрожжова, Г. Фефилов,
В. Коваленко, А. Серяков
PoS(QFTHEP 2013)053

Сравнение с другими подходами

15

Модель	Среднее число нуклонов участников p+Pb 5023 ГэВ
SGM	7.9 ± 0.6
MGM	5.0 ± 0.5
Non-Glauber	6.2 ± 0.6
HIJING	6.5
AMPT	6.4

B. Abelev et al. (ALICE Collaboration), Phys. Rev. Lett. 110 (2013) 032301.

Наш результат

V. N. Kovalenko. Proton-nucleus collisions at LHC energy in the Monte Carlo model, arXiv:1308.1932 [hep-ph] (2013)

Geometric properties and charged particles yields behind Glauber model in high energy pA and AA collisions
T. Drozhzhova, G.A. Feofilov, V. Kovalenko and A. Seryakov

A. Seryakov, pA collisions at LHC in Modified Glauber model, in Proceedings of International Student Conference "Science and Progress" (St. Petersburg, Peterhof, 2012), 131.

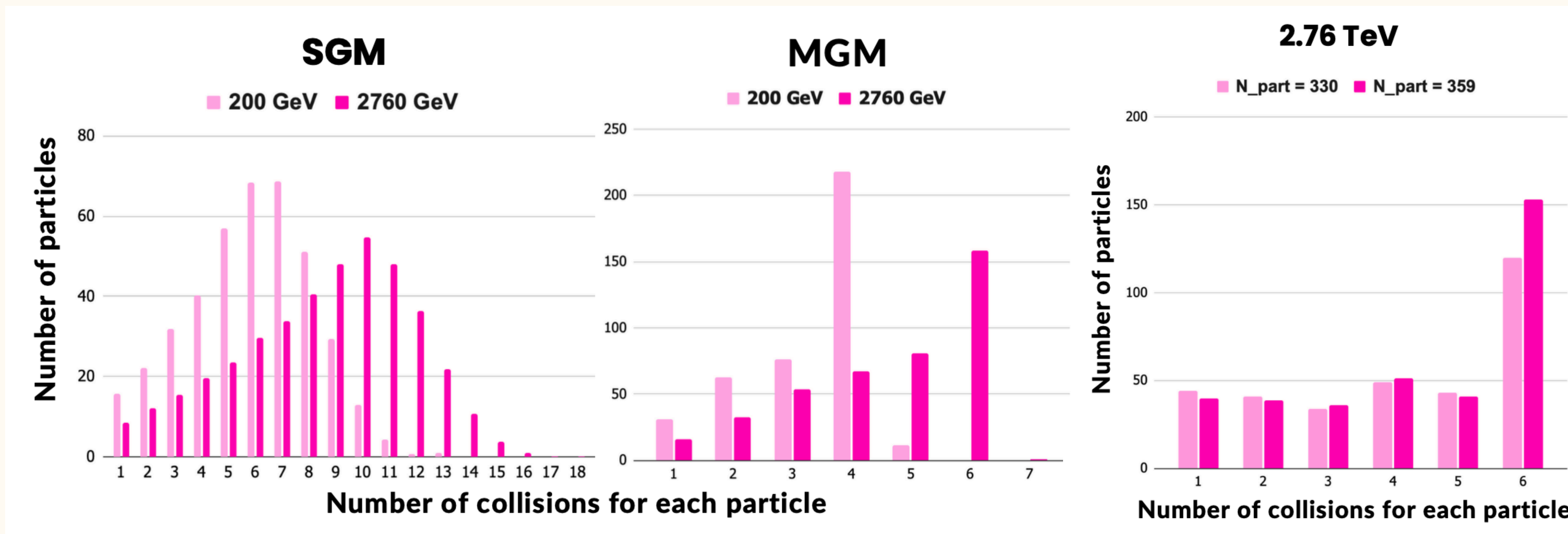
- Результаты применения Модифицированной модели Глаубера показывают **меньшие значения N_{part}, N_{coll}** для случая p+A в сравнении со Стандартной моделью Глаубера в связи с эффективным учетом потери энергии в процессе нуклон-нуклонных столкновений;

- Результаты также показывают **значительный эффект “стоппинга”** нуклонов в p+A, A+A столкновениях, особенно при энергиях ниже RHIC;

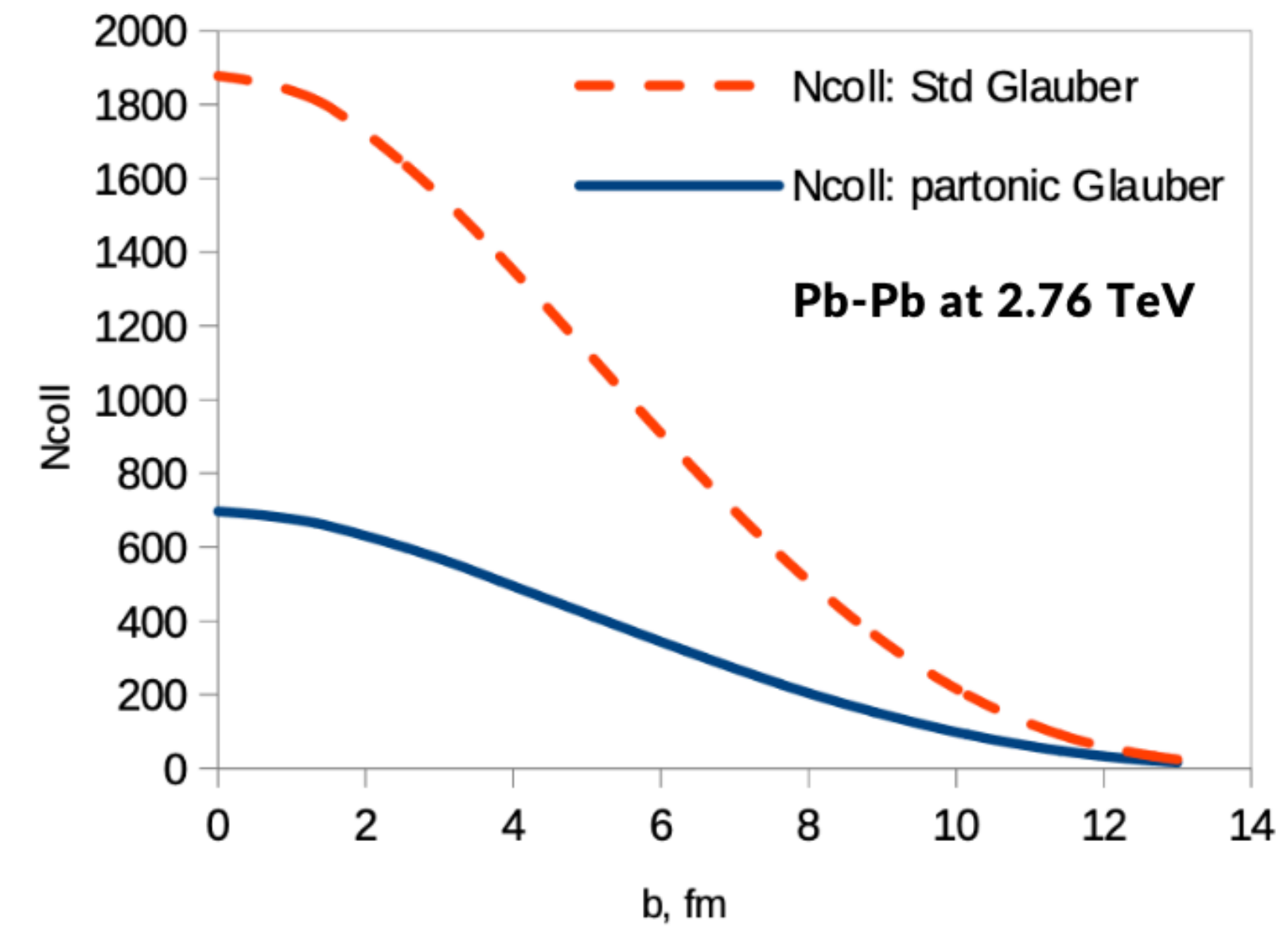
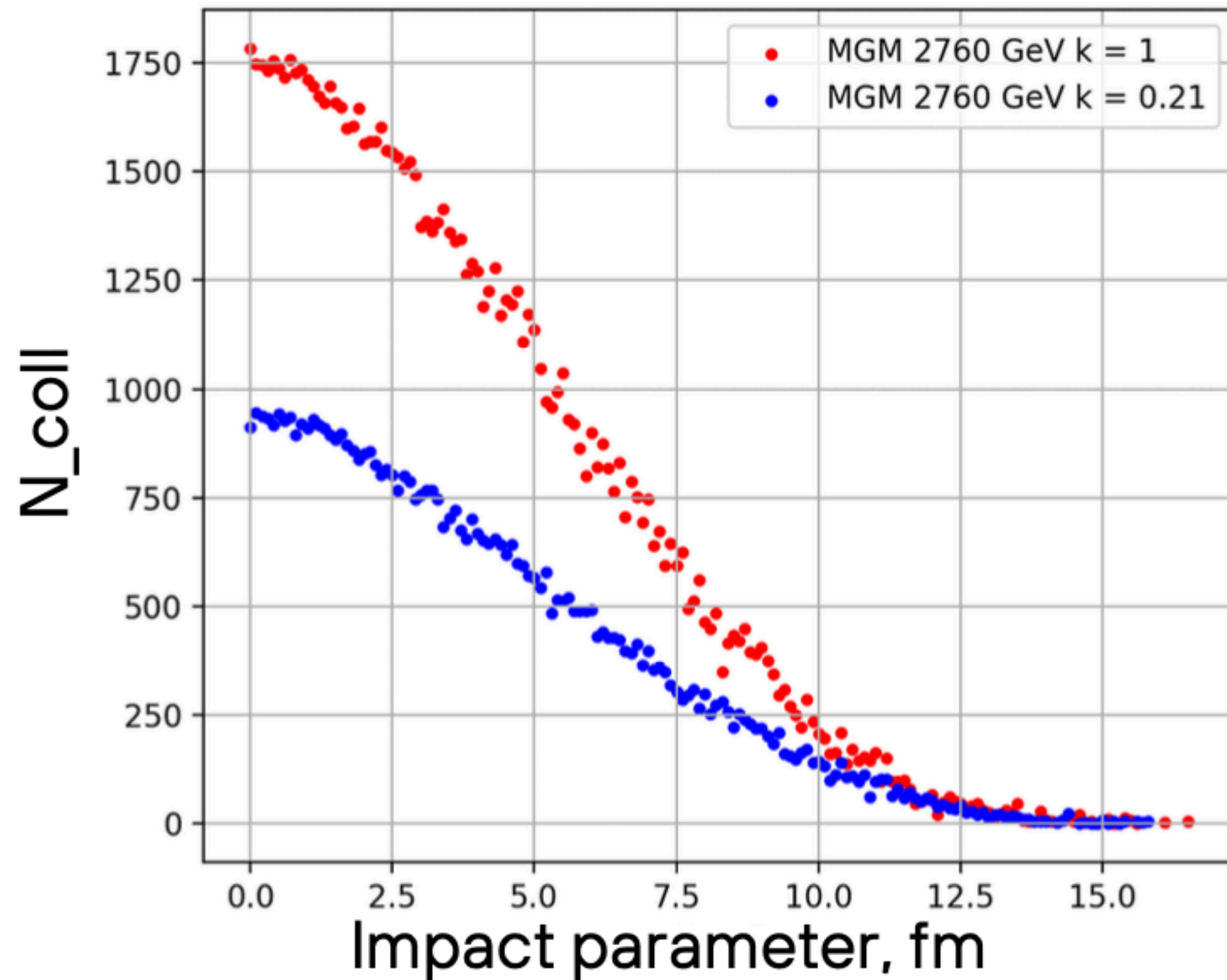
- Расчеты фактора ядерной модификации

$$R_{AA} = \frac{d^2 N_{ch}^{AA} / dp_t d\eta}{\langle N_{coll}^{AA} \rangle d^2 N_{ch}^{pp} d^2 N_{ch}^{AA} / dp_t d\eta}$$

в случае доминирования мягких процессов **требуют пересмотра.**



For Pb-Pb collisions:



Vladimir Kovalenko, Glauber modeling hadron-nucleus collisions at the parton level, Scientific session of the nuclear physics section of the Division of Physical Sciences of the Russian Academy of Sciences, JINR, 2024