

Поиск участков сечений со степенной зависимостью в pp-столкновениях

Рамир Егембердиев

Национальный исследовательский
ядерный университет «МИФИ» (Алматинский филиал)

Декабрь 2025

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Михаил Алфимов

Содержание презентации

- 1 Теория
- 2 Экспериментальные данные
- 3 Графики зависимости $\sigma_{tot}(s)$
- 4 Линеаризация кривой
- 5 Линейное фитирование
- 6 Локальные интерсепты
- 7 Заключение
- 8 Список литературы

Метод БФКЛ

Для описания роста полного сечения при высоких энергиях используется метод БФКЛ (Балицкий-Фадеев-Кураев-Липатов) [1]:

- Основная задача: суммирование всех ведущих логарифмов энергии $\ln(s)$ в амплитуде рассеяния.
- Применим в полужёстком режиме КХД: $s \gg |t| \gg \Lambda_{\text{QCD}}^2$, где t — переданный импульс.
- Обеспечивает предсказание степенного роста полного сечения: $\sigma_{\text{tot}}(s) \sim s^\alpha$.
- Позволяет перейти от сложных диаграммных сумм к интегральному уравнению для амплитуды $f(s, k_T^2)$:

$$\frac{\partial f(s, k_T^2)}{\partial \ln(s/|t|)} = \int d^2 q_T K(k_T, q_T) f(s, q_T^2),$$

где $K(k_T, q_T)$ — ядро БФКЛ.

Метод БФКЛ (продолжение)

- При высоких энергиях традиционный диаграммный подход КХД становится неэффективным из-за большого числа логарифмических членов вида $\ln^n(s/|t|)$.
- БФКЛ суммирует эти члены в "линейное" интегральное уравнение, что предотвращает расходимость и позволяет предсказать реальный рост сечения.
- Метод объясняет наблюдаемый в экспериментах помероновский рост сечения, когда $\alpha > 1$.
- В LO (Leading Order) суммируются все члены вида $(\alpha_s \ln s)^n$, что и приводит к степенной зависимости.

Модель сечения (Sterman, 1995)

Модель из работы Стэрмана [1] реализует БФКЛ-подход к сечению:

- Амплитуда рассеяния в импульсном пространстве $f(s, k_T^2)$ суммирует все ведущие логарифмы.

- Полное сечение можно аппроксимировать степенной зависимостью:

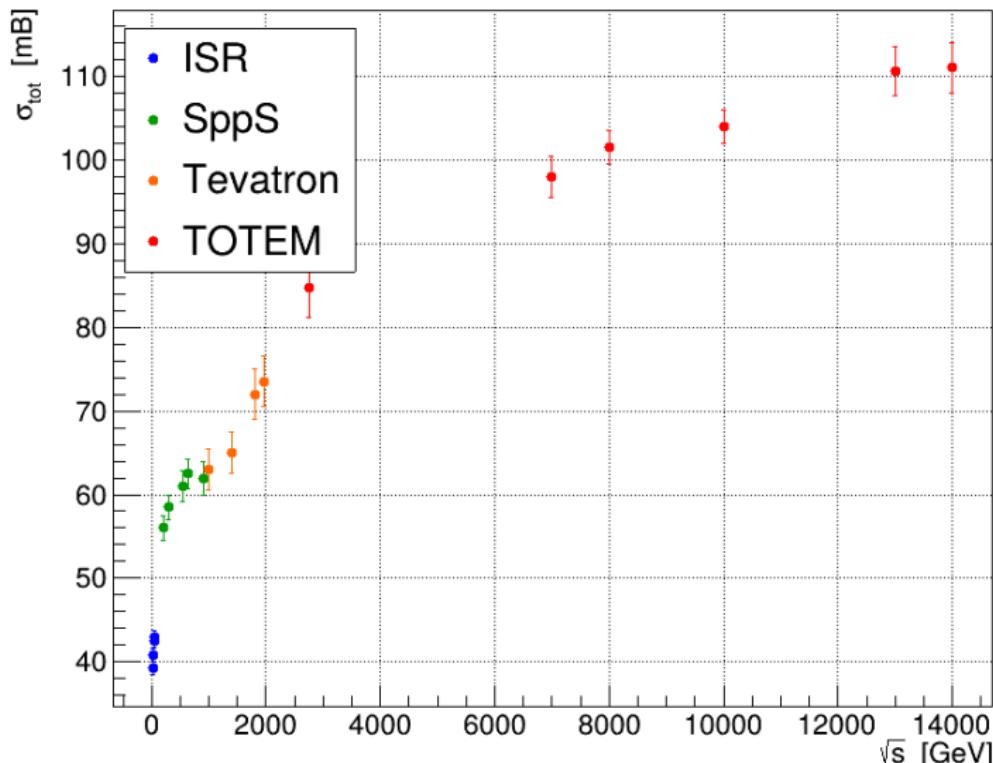
$$\sigma_{\text{tot}}(s) \sim s^\alpha$$

- Эффективный интерсепт α определяется экспериментальными данными.[2][3][4][5].

Экспериментальные данные

\sqrt{s} [ГэВ]	σ_{tot} [мб]	$\Delta\sigma$ [мб]	Эксперимент
14000	111.0	3.0	TOTEM
13000	110.6	3.0	TOTEM
10000	104.0	2.0	TOTEM
8000	101.5	2.0	TOTEM
7000	98.0	2.5	TOTEM
2760	84.7	3.5	TOTEM
1960	73.5	3.0	Tevatron
1800	72.0	3.0	Tevatron
1400	65.0	2.5	Tevatron
1000	63.0	2.5	Tevatron
900	62.0	2.0	SppS
630	62.5	1.8	SppS
546	61.0	1.8	SppS
300	58.5	1.5	SppS
200	56.0	1.5	SppS
52.68	42.98	0.8	ISR
44.77	42.57	0.8	ISR
30.53	40.85	0.8	ISR
23.40	39.30	0.8	ISR

График зависимости $\sigma_{tot}(s)$



Линеаризация кривой

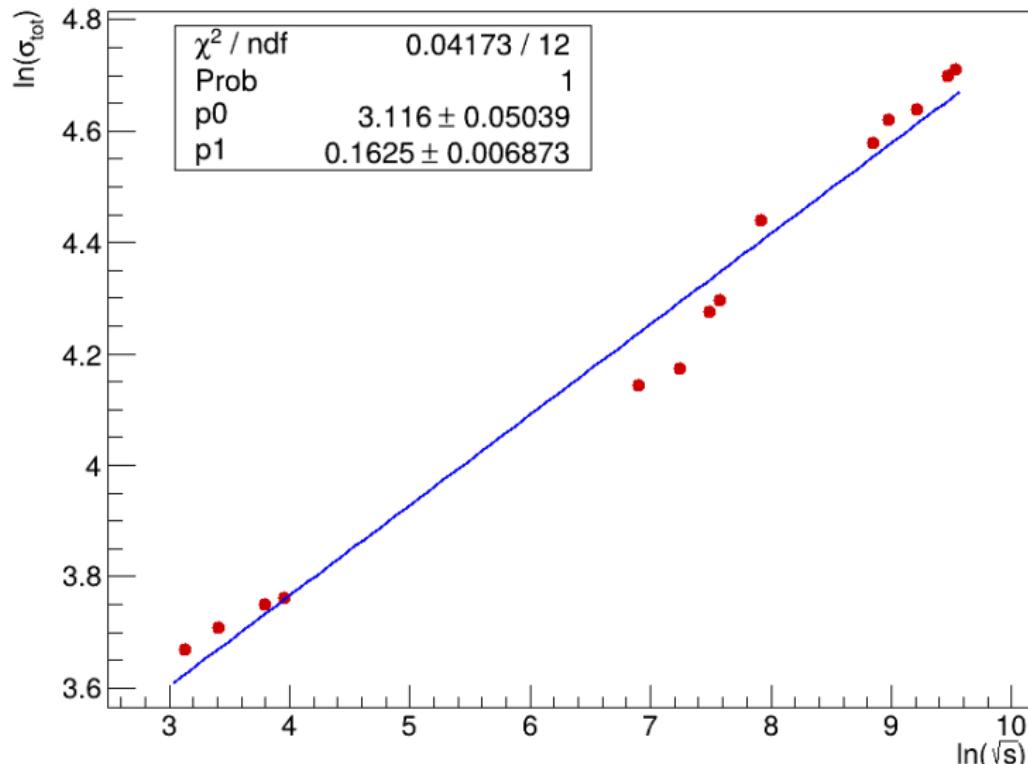
Для выявления участков со степенной зависимостью была проведена линеаризация графика $\sigma_{\text{tot}}(s)$:

- По оси $x - \ln(s)$, по оси $y - \ln(\sigma_{\text{tot}})$.
- В этой шкале зависимость $\sigma_{\text{tot}} \sim s^\alpha$ превращается в линейную:

$$\ln(\sigma_{\text{tot}}) = \alpha \ln(s) + \text{const.}$$

- Участки, где прямая линия хорошо накрывает точки, демонстрируют чистую степенную зависимость.
- Лучшее совпадение наблюдается на высоких энергиях: TOTEM и Tevatron.
- Низкие энергии (ISR, SppS) показывают отклонения от прямой линии.

Линейное фитирование



Локальные интерсепты

Энергетический диапазон	α_{local}
TOTEM (7–14 ТэВ)	0.180
Tevatron (1–2 ТэВ)	0.239
SppS (0.5–0.9 ТэВ)	0.022
ISR (0.02–0.05 ТэВ)	0.111

Таблица: Локальные интерсепты по энергетическим диапазонам

Заключение

- Выявлены участки степенного роста $\sigma_{\text{tot}}(s)$ на высоких энергиях.
- Вычислены локальные интерсепты для разных диапазонов энергии.
- Дальнейшие исследования могут уточнить эффективный интерсепт α_{eff} .

Список литературы I

- [1] George Sterman. "Partons, Factorization and Resummation". В: *TASI 95: Theoretical Advanced Study Institute in Elementary Particle Physics. Lectures*, arXiv:hep-ph/9606312. 1995.
- [2] CERN. *ISR – Intersecting Storage Rings, the world's first hadron collider*.
<https://home.web.cern.ch/news/series/cern70/cern70-worlds-first-hadron-collider>. 2024.
- [3] TOTEM Collaboration. *The TOTEM experiment at the CERN Large Hadron Collider*.
<https://home.web.cern.ch/science/experiments/totem>. 2025.
- [4] V.M. Abazov и et al. "Measurement of total cross section in ppbar collisions at 1.96 TeV". В: *Phys. Rev. D* 86 (2012), с. 012009.

Список литературы II

- [5] Particle Data Group. “Review of Particle Physics: Cross sections and related quantities”. In: *Review of Particle Physics* (2023). URL: <https://pdg.lbl.gov>.