

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Филиал федерального государственного автономного образовательного
учреждения высшего образования «Национальный исследовательский
ядерный университет «МИФИ» в городе Алматы (АФ НИЯУ МИФИ)

УДК 539.1

ОТЧЕТ

О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

**Вычисление интерсепта при высокоэнергетических адронных
столкновениях**

Научный руководитель _____ М. Н. Алфимов
к.ф.-м.н.

Студент _____ Р. К. Егемберди-
ев

Алматы 2025

Содержание

1 Введение	2
1.1 Актуальность и цель работы.....	2
2 Теория	2
2.1 Краткий обзор КХД при высоких энергиях.....	2
2.2 БФКЛ-подход	2
3 Экспериментальная база	3
3.1 Обзор экспериментов	3
3.2 Данные экспериментов	4
4 Ход работы	5
4.1 Графики зависимости полного сечения	5
4.2 Линеаризация и получение интерсепта	6
4.3 Сравнение с теорией и другими экспериментами.....	6
5 Выводы	7

1. ВВЕДЕНИЕ

1.1 Актуальность и цель работы

Современные эксперименты по высокоэнергетическим столкновениям протонов (ISR, SppS, Tevatron, LHC/TOTEM) показывают, что полное сечение растет с энергией столкновения. Изучение этого роста важно для понимания динамики сильного взаимодействия в области малых x и высоких энергий.

Цель данной работы — вычисление интерсепта α на основе экспериментальных данных и сравнение полученных результатов с теоретическими предсказаниями БФКЛ и другими экспериментальными измерениями.

2. ТЕОРИЯ

2.1 Краткий обзор КХД при высоких энергиях

В квантовой хромодинамике (КХД) для процессов pp используют инварианты Мандельштама:

$$s = (p_1 + p_2)^2, \quad (1)$$

$$t = (p_1 - p'_1)^2, \quad (2)$$

где p_1, p_2 — четырёхимпульсы исходных протонов, p'_1, p'_2 — четырёхимпульсы рассеянных протонов. При больших энергиях $s \gg |t| \gg \Lambda_{\text{QCD}}^2$ стандартное диаграммное разложение становится сложным из-за больших логарифмов $\ln(s/|t|)$.

2.2 БФКЛ-подход

Для суммирования ведущих логарифмов $\alpha_s^n \ln^n(s/|t|)$ разработан подход БФКЛ (Балицкий, Фадеев, Кураев, Липатов) [1, 2].

Амплитуда рассеяния $f(s, k_T^2)$ удовлетворяет уравнению:

$$\frac{\partial f(s, k_T^2)}{\partial \ln s} = \int d^2 q_T K(k_T, q_T) f(s, q_T^2), \quad (3)$$

где $K(k_T, q_T)$ — ядро БФКЛ.

Собственные функции ядра:

$$\phi_\gamma(k_T^2) = (k_T^2)^{\gamma-1}, \quad \gamma \in \mathbb{C}. \quad (4)$$

Собственные значения ядра:

$$\chi(\gamma) = 2\psi(1) - \psi(\gamma) - \psi(1 - \gamma), \quad (5)$$

где $\psi(x)$ — дигамма-функция.

Решение БФКЛ:

$$f(s, k_T^2) \sim s^\alpha, \quad \alpha = \frac{4 \ln 2 \alpha_s N_c}{\pi}. \quad (6)$$

Полное сечение: Через оптическую теорему:

$$\sigma_{\text{tot}}(s) \sim \frac{\text{Im} A(s, 0)}{s} \sim s^\alpha. \quad (7)$$

Интерсепт : Параметр α описывает рост сечения с энергией. LO BFKL: $\alpha \sim 1.4 - 1.6$, NLO/NLL: $\alpha \sim 1.13 - 1.18$.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ БАЗА

3.1 Обзор экспериментов

- **ISR (CERN):** первый $p p$ коллайдер.
- **SppS (CERN):** $p \bar{p}$ коллайдер.

- **Tevatron (Fermilab):** $p\bar{p}$ коллайдер, $\sqrt{s} = 1.96$ ТэВ.
- **TOTEM (LHC):** измерения pp сечений при $\sqrt{s} = 0.9 - 14$ ТэВ.

3.2 Данные экспериментов

\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

4. ХОД РАБОТЫ

4.1 Графики зависимости полного сечения

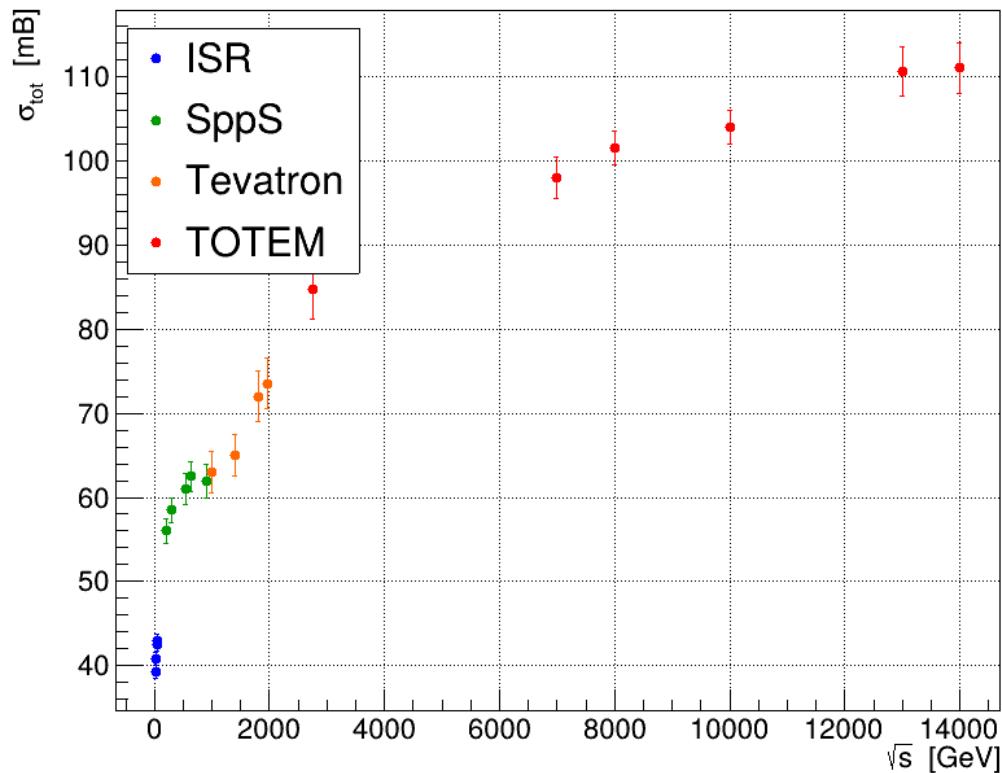


Рисунок 1 — График полного сечения pp -столкновений.

4.2 Линеаризация и получение интерсепта

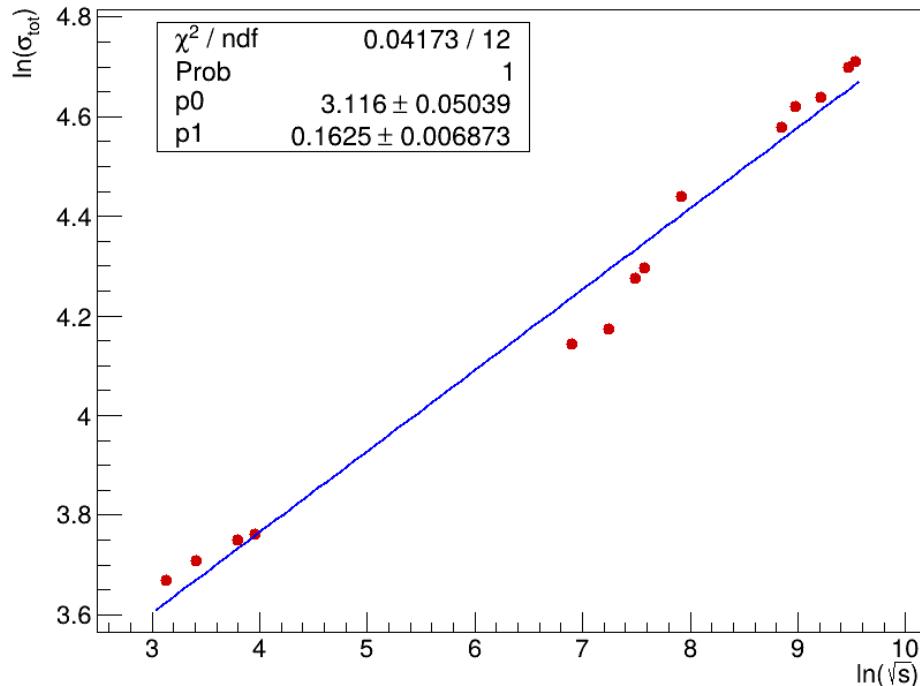


Рисунок 2 — Линеаризованная кривая зависимости $\sigma_{\text{tot}}(s)$.

Линеаризация:

$$\ln \sigma_{\text{tot}} = (\alpha - 1) \ln s + \text{const.} \quad (8)$$

По данным ROOT:

$$\alpha \approx 1.1625 \pm 0.0069$$

4.3 Сравнение с теорией и другими экспериментами

- LO BFKL: $\alpha \approx 1.4\text{--}1.6$
- NLL/NLO BFKL: $\alpha \approx 1.13\text{--}1.18$
- Tevatron (DØ Collaboration): $\alpha \approx 1.65 \pm 0.07$

- HERA: $\alpha \approx 1.43 \pm 0.025$

5. ВЫВОДЫ

- Выявлены участки степенного роста $\sigma_{\text{tot}}(s)$ на высоких энергиях.
- Получен локальный интерсепт $\alpha \approx 1.16$, согласующийся с современными измерениями и NLO/NLL BFKL.
- Погрешности обусловлены ограниченным числом экспериментальных точек и методикой линеаризации.
- Дальнейшие исследования могут уточнить эффективный интерсепт α_{eff} .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] L.N. Lipatov. “Reggeization of the vector meson and the vacuum singularity in nonabelian gauge theories”. B: *Sov. J. Nucl. Phys.* 23 (1976), c. 338–345.
- [2] G. Sterman. “Partons, Factorization and Resummation”. B: *TASI 95 Lectures on QCD and Beyond* (1996). arXiv:hep-ph/9606312. eprint: [hep-ph/9606312](https://arxiv.org/abs/hep-ph/9606312).