

**О возможности прецизионного
измерения упругого рассеяния на
ускорителе ИФВЭ**

**С.П.Денисов,
15 апреля 2014 года.**

1. Нужно ли это?

2. Возможно ли это?

Изучение упругого рассеяния частиц со времён Резерфорда является классическим экспериментом, который проводился одним из первых на всех ускорителях и коллайдерах, включая Тэватрон и LHC. Эти эксперименты сыграли исключительно важную роль в понимании структуры материи – сначала атома, потом ядер, протонов и других частиц. Полученные в них результаты привели к кардинальным изменениям и заложили фундамент современного понимания физики микромира.

Необходимо отметить, что теоретический прогресс в понимании процессов упругого рассеяния при высоких энергиях ограничивается пока в основном построением различных феноменологических моделей. Это связано с тем, что пространственно-временные масштабы, определяющие дифракционное рассеяние адронов, не являются малыми и методы современной теории сильных взаимодействий - квантовой хромодинамики - в этой области развиты очень слабо. Именно это обстоятельство делает столь насущной «подпитку» теории новыми данными.

$d\sigma/dt, \text{mb}/(\text{GeV}/c)^2$

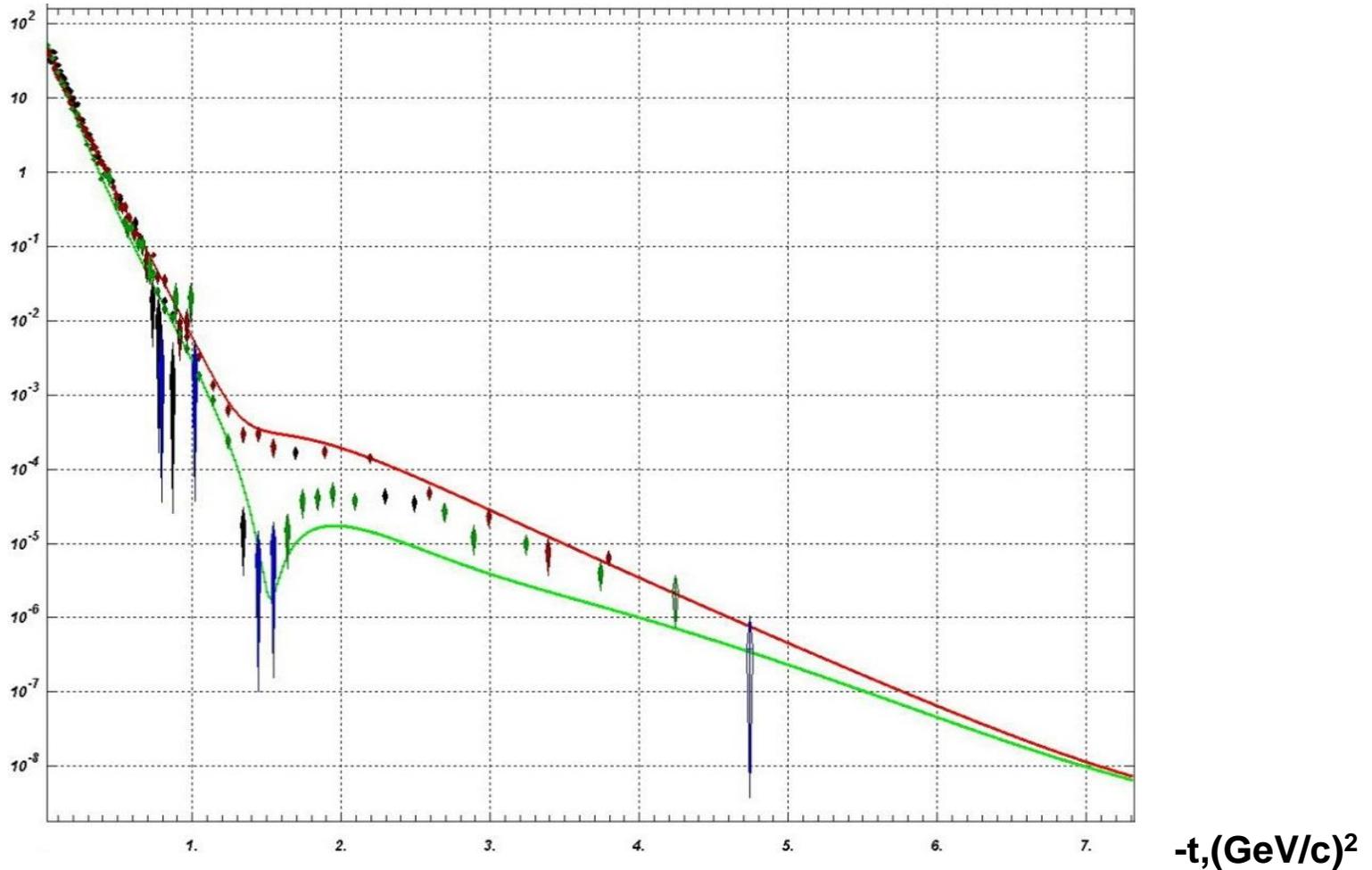


Рис.1. Дифференциальное сечение упругого рассеяния протонов и антипротонов на протонах при импульсе 50 ГэВ/с.

<http://hermes.ihep.su:8001/compas/kuyanov/elasticCollisions.html>

Как известно, простая экспоненциальная зависимость дифференциальных сечений в области дифракционного конуса следует из предположения о гладкой гауссовой форме эффективного рассеивателя в поперечной плоскости. Вряд ли в реальности дело обстоит так просто, и скорее всего структура дифракционного конуса является более сложной.

Отличие поведения сечения упругого рассеяния в области дифракционного пика от гладкой зависимости может быть связано как с более сложной, чем принято считать, пространственной структурой периферии области взаимодействия (расстояния порядка 1-2 фм), так и с возможными неоднородностями, порождаемыми образованием квазинезависимых «составляющих кварков», имеющих свои структуру и размер (0.2–0.4 фм).

Наибольший интерес представляет именно первая возможность, поскольку эти структуры или осцилляции могли бы быть интерпретированы как проявление интерференции между кулоновыми и Ван-дер-Ваальсовыми силами. Имеются определённые основания полагать, что достаточно скрупулёзный анализ позволит обнаружить осцилляции в области дифракционного пика при самых различных энергиях. Обнаружение дальнодействующих динамических сил типа Ван-дер-Ваальса, либо их «закрытие» в равной степени ценны для прояснения механизма конфайнмента во взаимодействии адронов.

Но есть ли надёжные экспериментальные указания на наличие каких-либо особенностей в дифракционном конусе упругого рассеяния?

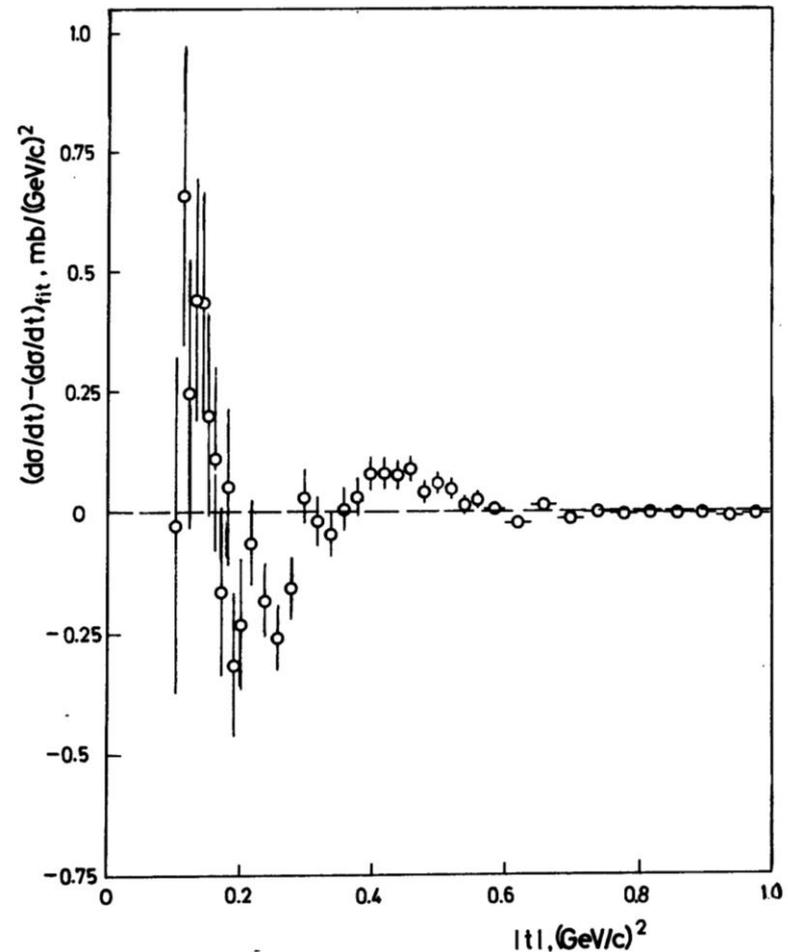
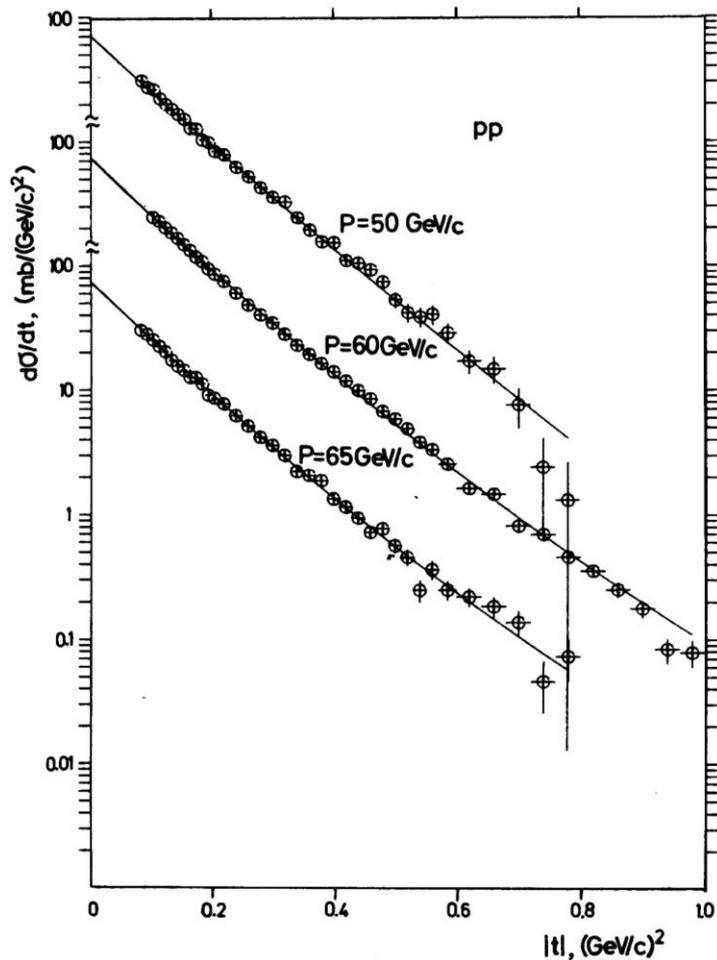


Рис.2. Дифференциальные сечения упругого рассеяния, фитированные квадратичной экспонентой и разность между измеренными сечениями при импульсе 60 ГэВ/с и их фитом как функция t . Число упругих событий при импульсе 60 ГэВ/с – 103853, при 65 ГэВ/с – 15865 и при 50 ГэВ/с – 12910.

Есть ли другие экспериментальные указания на существование структуры в дифракционном конусе?

- 1. Похожие осцилляции сечения упругого рассеяния наблюдались в экспериментах по упругому pp-рассеянию на встречных кольцах ISR в ЦЕРН (информация Уго Амальди).**
- 2. О.В.Селюгин и Дж.Р.Куделл провели анализ большой совокупности данных по упругому рассеянию и показали, что они не противоречат существованию осцилляций при малых значениях $-t$.**

Как следует из рис.2, для наблюдения структуры в дифракционном конусе необходимы:

- 1. Высокая статистика.**
- 2. Хорошее разрешение по переданному импульсу.**

До настоящего времени в области энергий ускорителя ИФВЭ не было проведено ни одного эксперимента, удовлетворяющего обоим этим требованиям.

Мы предлагаем провести на ускорителе ИФВЭ эксперимент по прецизионному изучению упругого pp-рассеяния при энергии 50 ГэВ на статистике 10^9 событий при высоком (несколько процентов) разрешении по переданному импульсу с целью проверки результатов эксперимента, в которых наблюдались осцилляционные структуры в области дифракционного конуса.

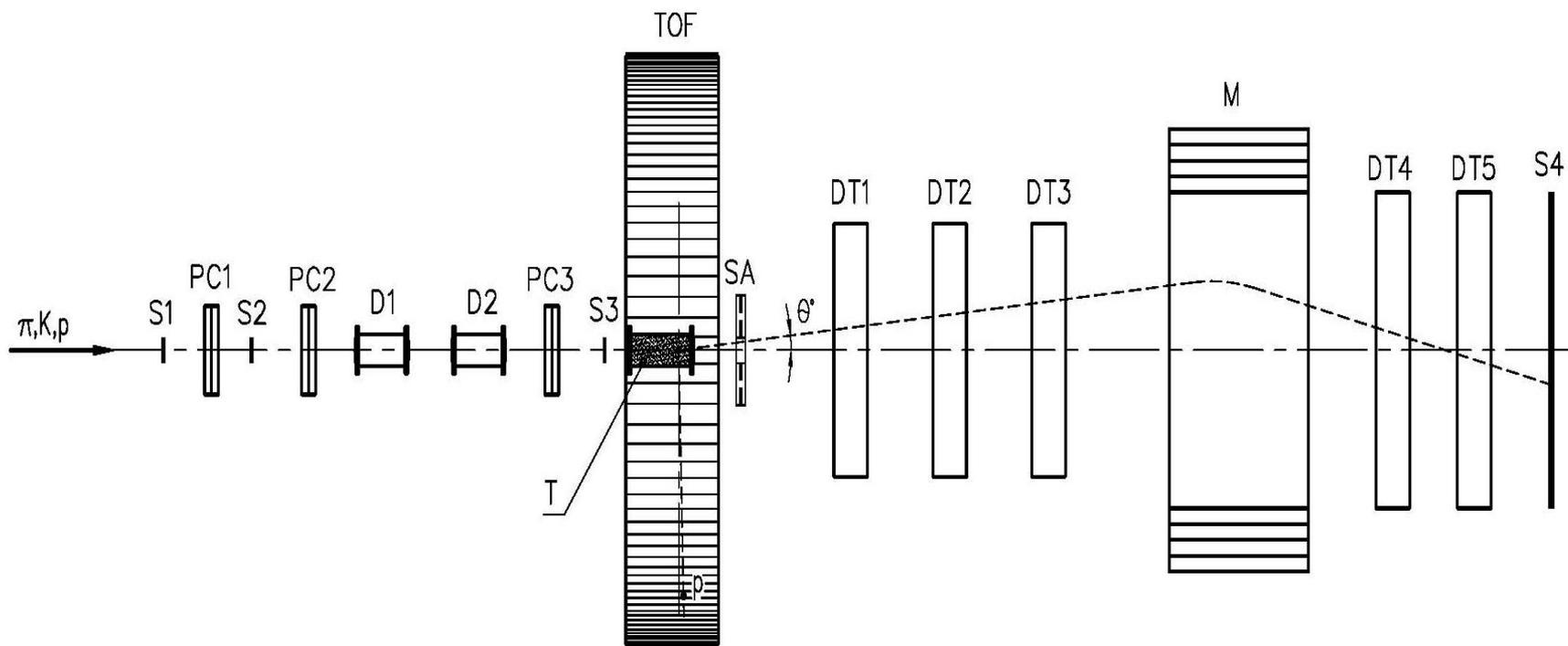


Рис.3. Схема установки. S1-S4 – сцинтилляционные счётчики, SA – счётчик антисовпадений, PC1-PC3 – пропорциональные камеры, D1, D2 – дифференциальные черенковские счётчики, DT1-DT5 – станции из дрейфовых трубок, T – водородная мишень, TOF – сцинтилляционные счётчики для измерения времени пролёта протона отдачи, M – спектрометрический магнит.



Рис.4. Фотография майларовой дрейфовой трубки.

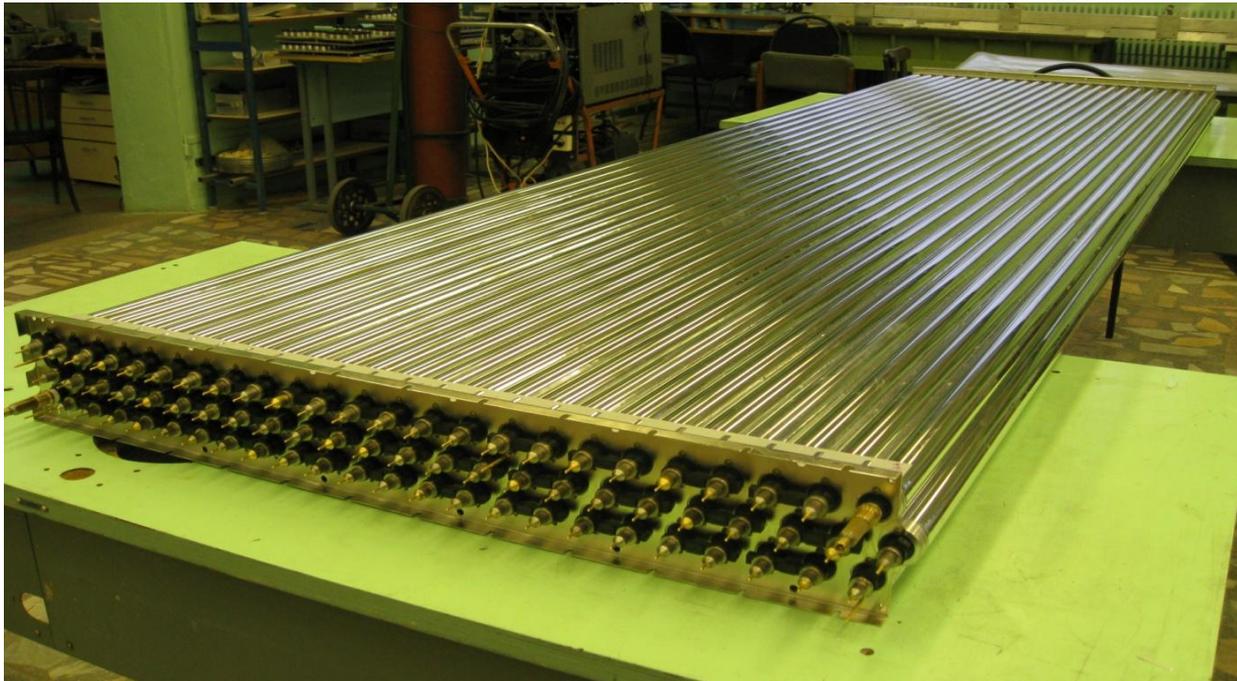


Рис.5. Фотография дрейфовой камеры из майларовых трубок.

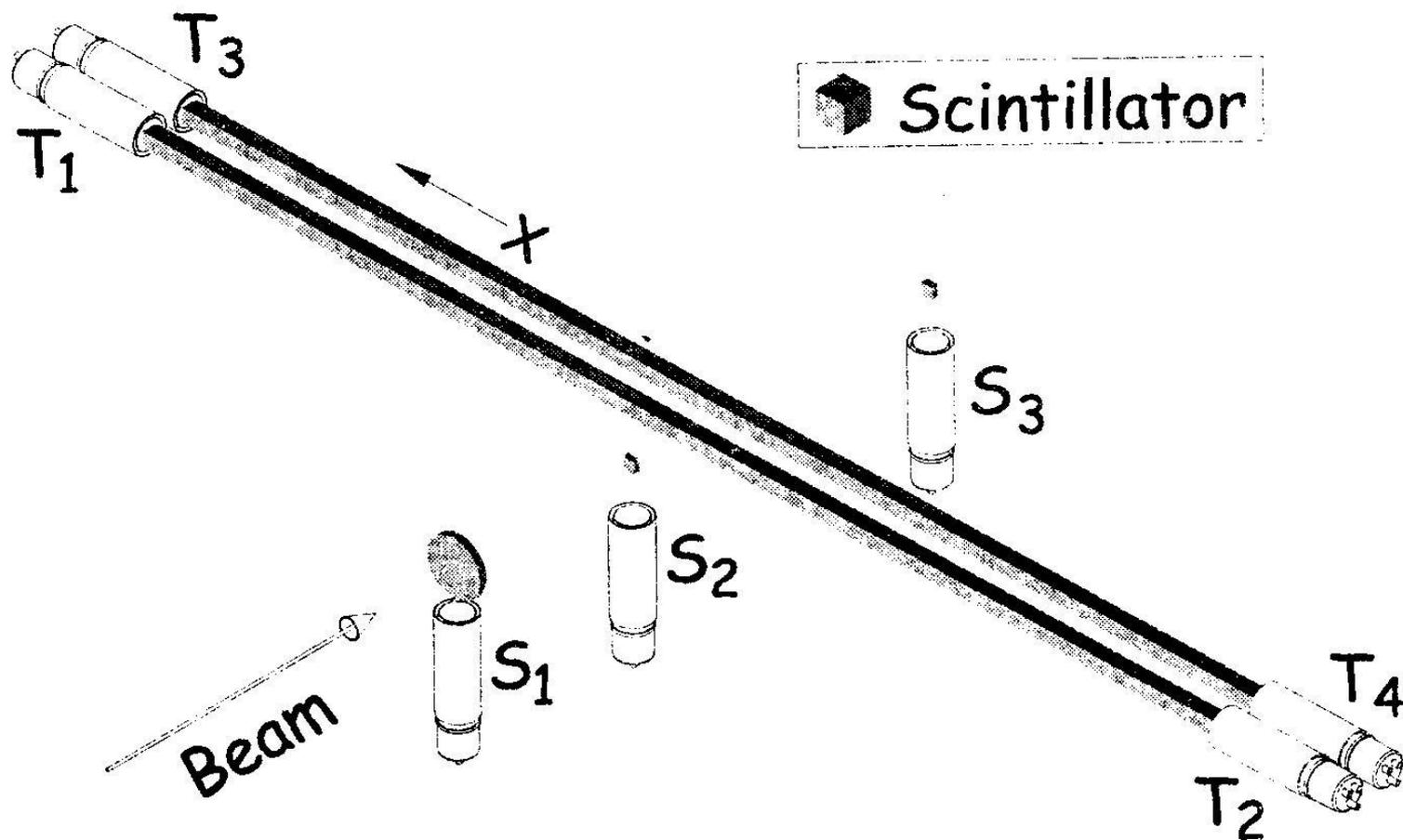


Рис.6. Схема испытания счётчиков: S1-S3 – пучковые счётчики, T1-T4 – ф.э.у. исследуемых сцинтилляционных счётчиков.

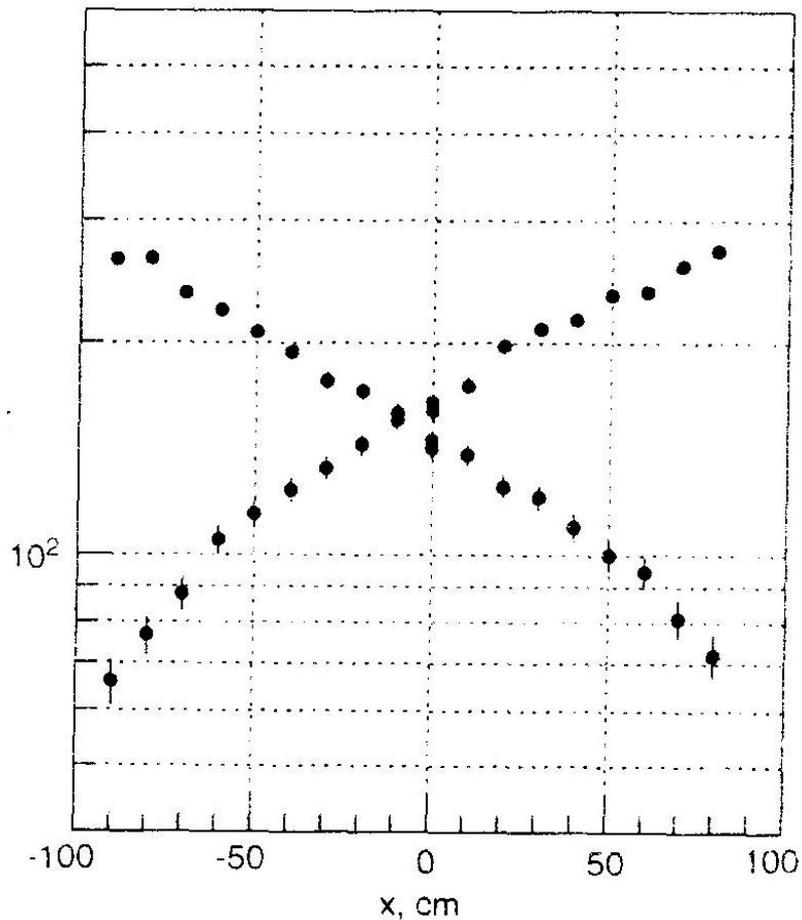


Рис.7. Зависимости временного разрешения сигналов с ф.э.у. XR2020 от места прохождения частицы в 2 м сцинтиляционном счетчике.

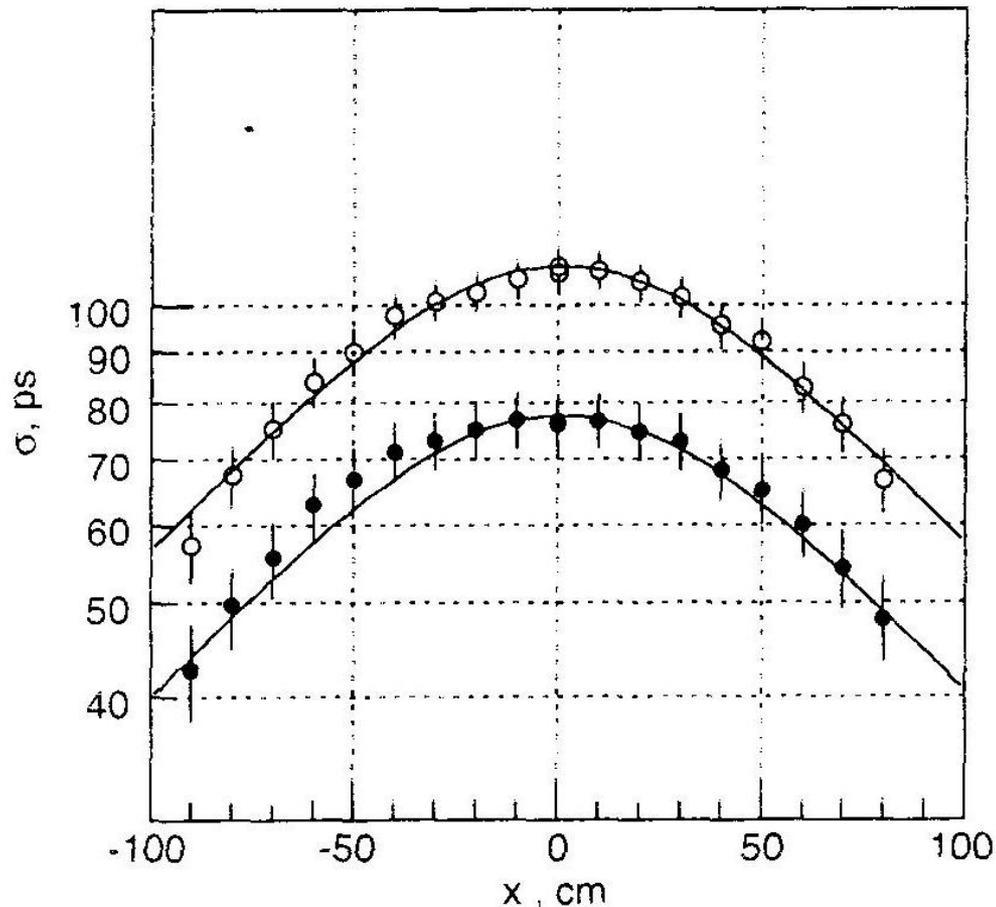


Рис.8. Зависимости временного разрешения одного и двух 2 м счетчиков с ф.э.у. XR2020 от места прохождения частицы.

- 1. Какое разрешение по t ?**
- 2. Какова статистика?**

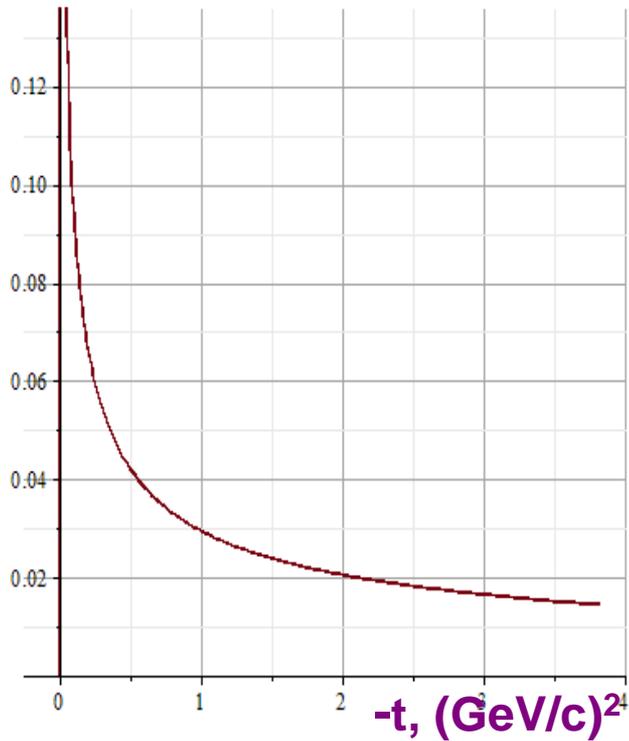
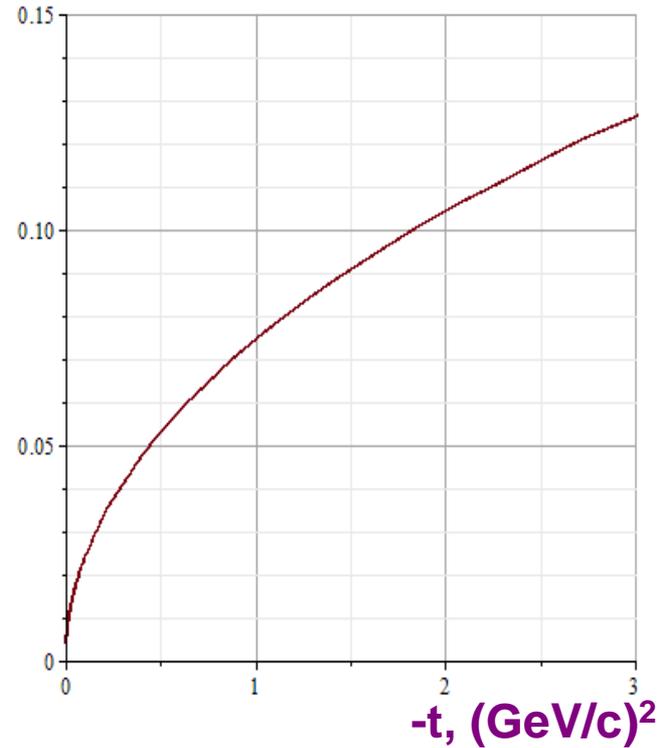
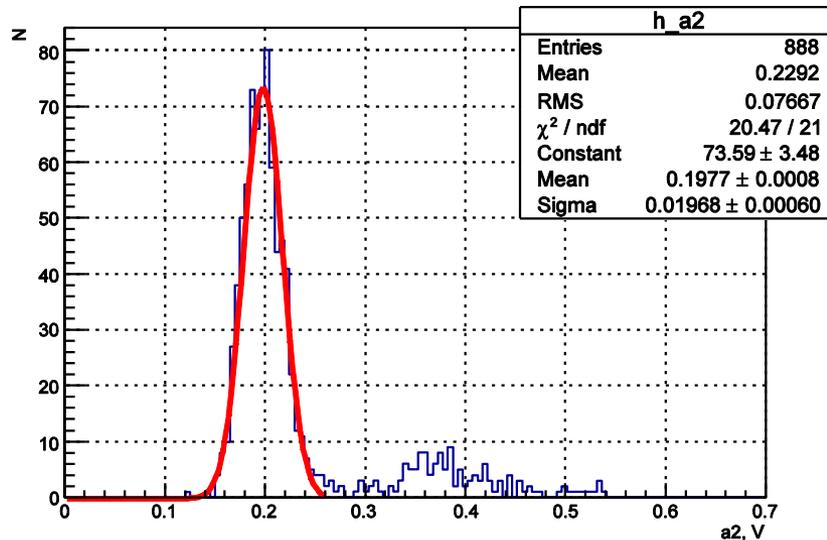
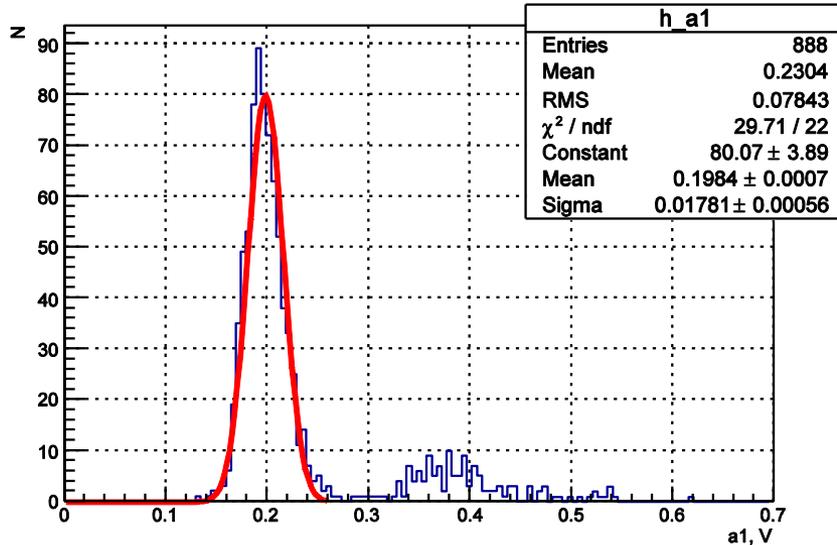
a $\sigma(t)/t$ **b** $\sigma(t)/t$ 

Рис.9. Погрешности в определении $-t$ по углу рассеяния протона с импульсом 50 ГэВ/с (а) и времени пролёта протона отдачи (b). Предполагалось, что разрешение по углу и времени составляют 0.3 мрад и 100 пс.

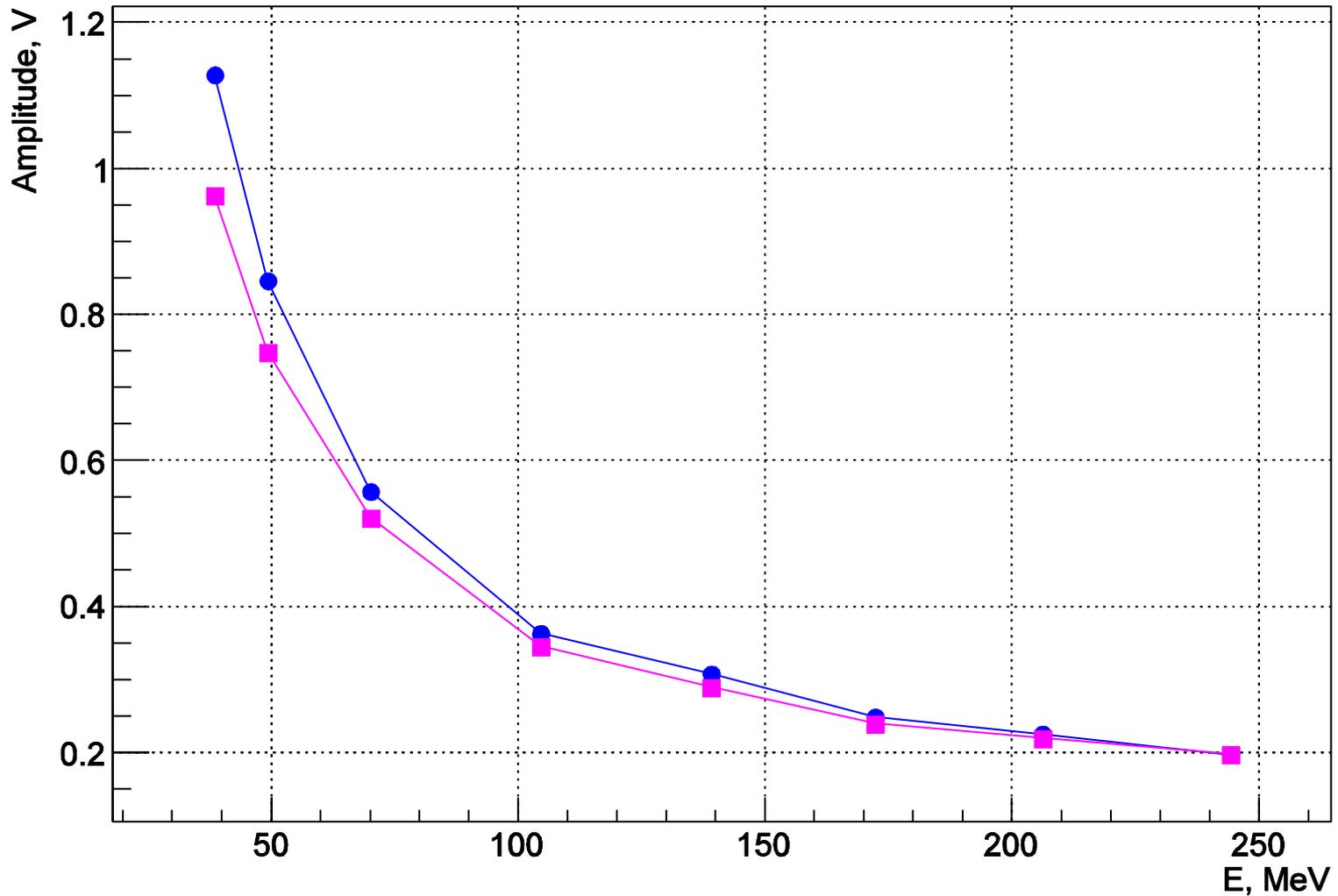
В действительности, так как плотность ионизационных потерь нерелятивистской частицы $dE/dx \sim 1/T_0$, то амплитуда A сигнала с ф.э.у. TOF будет расти с уменьшением T_0 и временное разрешение будет улучшаться пропорционально $A^{-1/2}$. Кроме того, следует упомянуть, что распределение ионизационных потерь нерелятивистских частиц следует закону Гаусса, а не Ландау. Разрешение по $-t$ с учётом указанных выше эффектов представлено в таблице.

$t, (\text{GeV}/c)^2$	$\sigma(t), (\text{GeV}/c)^2$
0.1	0.00096
0.2	0.0035
0.5	0.018
1.0	0.062
2.0	0.19

Run 12 E = 244.1 MeV No Selection

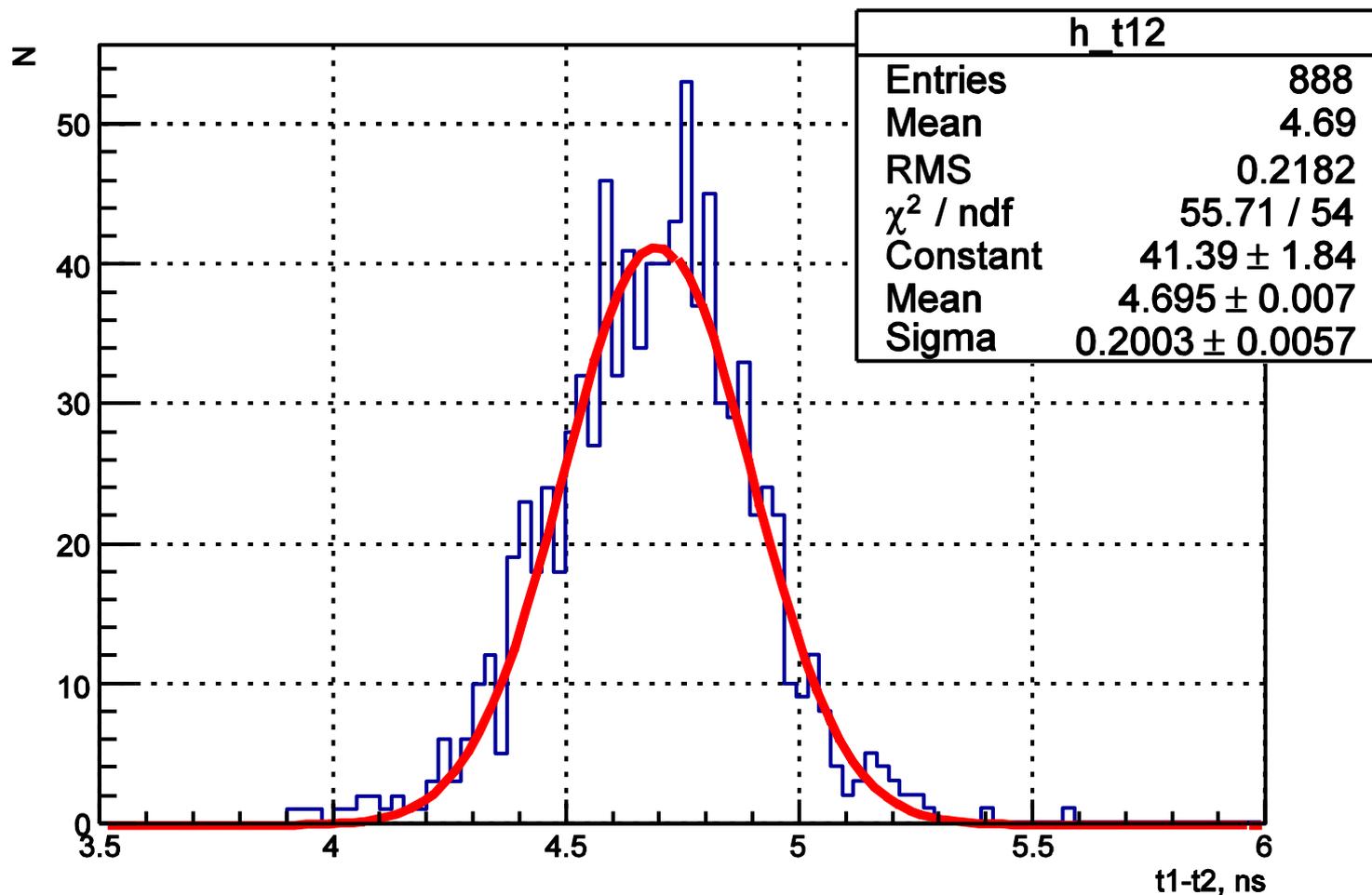


Амплитудные спектры сигналов с ФЭУ Hamamatsu R1828-01, просматривающих с двух сторон сцинтиллятор Bicron 404 размером 400×60×12.5 мм³. Данные получены при помощи цифрового осциллографа Tektronix 3032В.

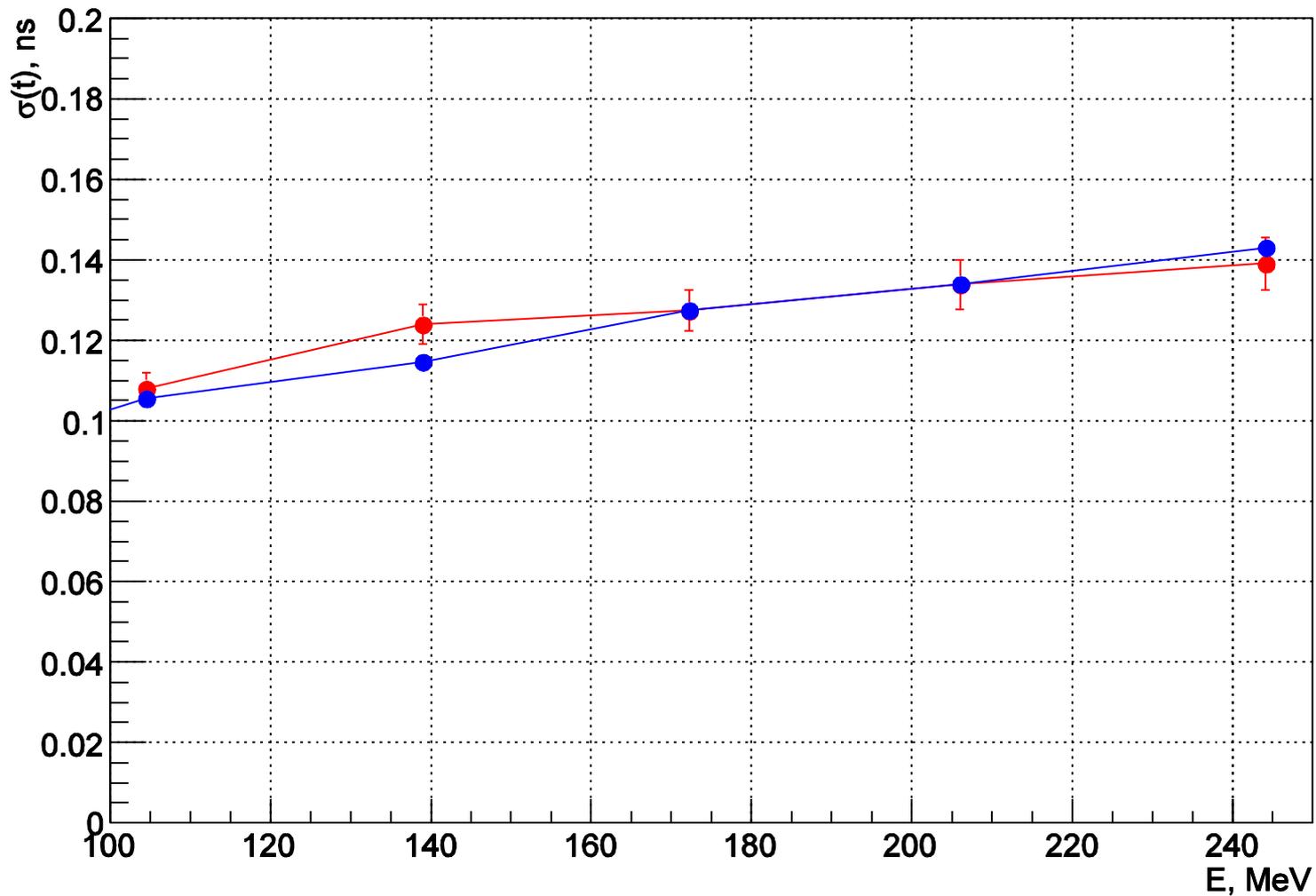


Зависимость амплитуды сигналов с ФЭУ от энергии регистрируемого протона

Run 12 E = 244.1 MeV



Распределение разности времён прихода сигналов (на полувысоте) с двух ФЭУ.



Зависимость временного разрешения ФЭУ от энергии протона

a, (GeV/c)²	b, (GeV/c)²	σ (a, b), mb	N
0.001	0.01	0.96	1.83·10⁸
0.01	0.1	4.03	7.66·10⁸
0.1	1.0	2.62	4.98·10⁸
1.0	2.0	9.89·10⁻⁴	1.88·10⁵
2.0	3.0	8.79·10⁻⁵	1.67·10⁴
3.0	4.0	9.75·10⁻⁶	1852
4.0	5.0	9.89·10⁻⁷	188
5.0	6.0	1.28·10⁻⁷	25

Число событий упругого pp-рассеяния при энергии 50 ГэВ в различных интервалах по переданному импульсу за один сеанс (20 дней) работы У-70 при полезной длине мишени 1.5 м и давлении водорода 20 атм с учётом эффективности регистрации событий.

Возможное развитие программы

1. Изучение упругого pp -рассеяния в области дифракционного конуса при других энергиях.
2. Изучение упругого πp - и Kp -рассеяния.
3. Прецизионное изучение упругого рассеяния в области кулон-ядерной интерференции.
4. Исследование упругого рассеяния в области переданных импульсов $-t$ до 10 (ГэВ/с)^2 .
5. Исследование упругого рассеяния протонов и ядер на ядрах с использованием газовых мишеней низкого давления.
6. Изучение дифракционных процессов.