



# Уточнённая Geant4-модель детектора BBC эксперимента SPD

Подготовил: Завидов Е.Н.  
Научный руководитель: к.ф.-м.н., доц. Солдатов Е. Ю.



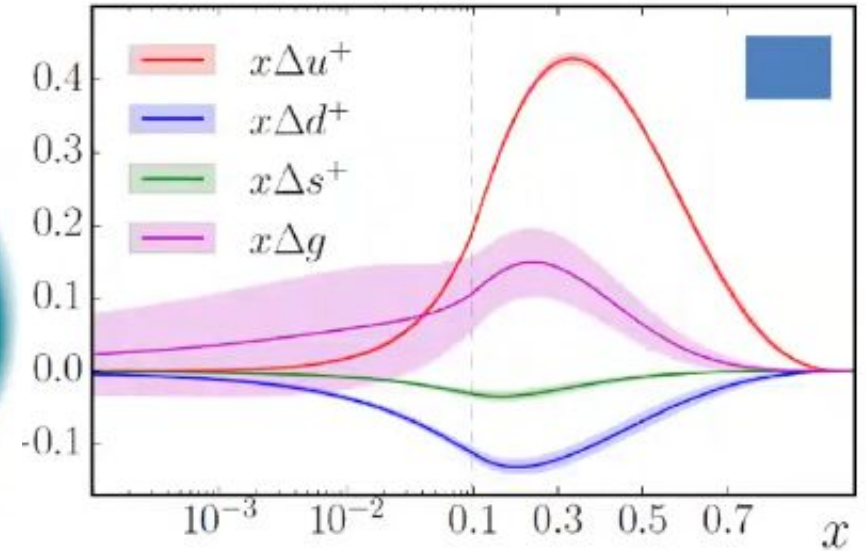
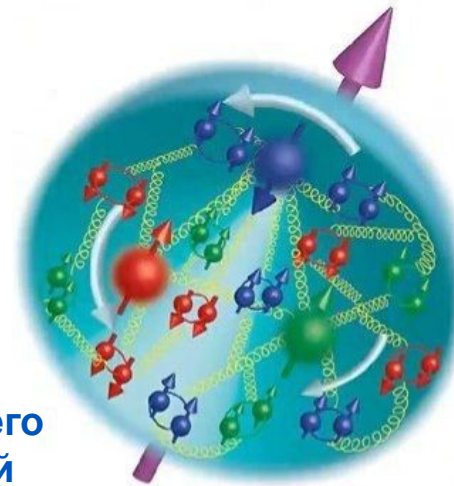
# Спиновый кризис



Эксперимент EMC,  
CERN 1988



Вклад кварков в спин протона составляет примерно 30% от общего спина, что противоречит наивной кварковой модели



JAM Collaboration, PRD (2016).

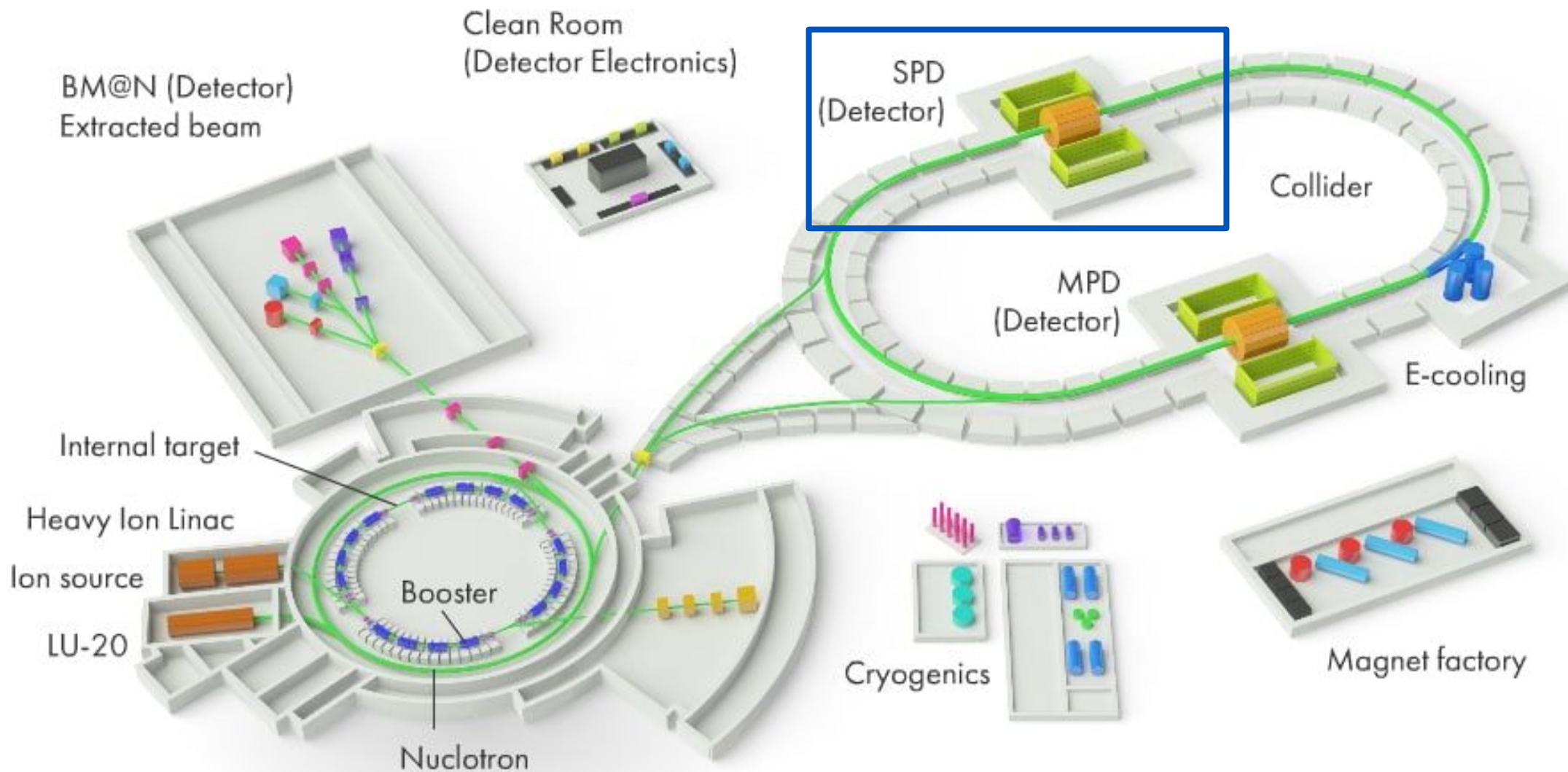
Относительные вклады кварков и глюонов в спин протона

$$J = \frac{1}{2} \Delta\Sigma + \Delta G + L_q + L_g$$

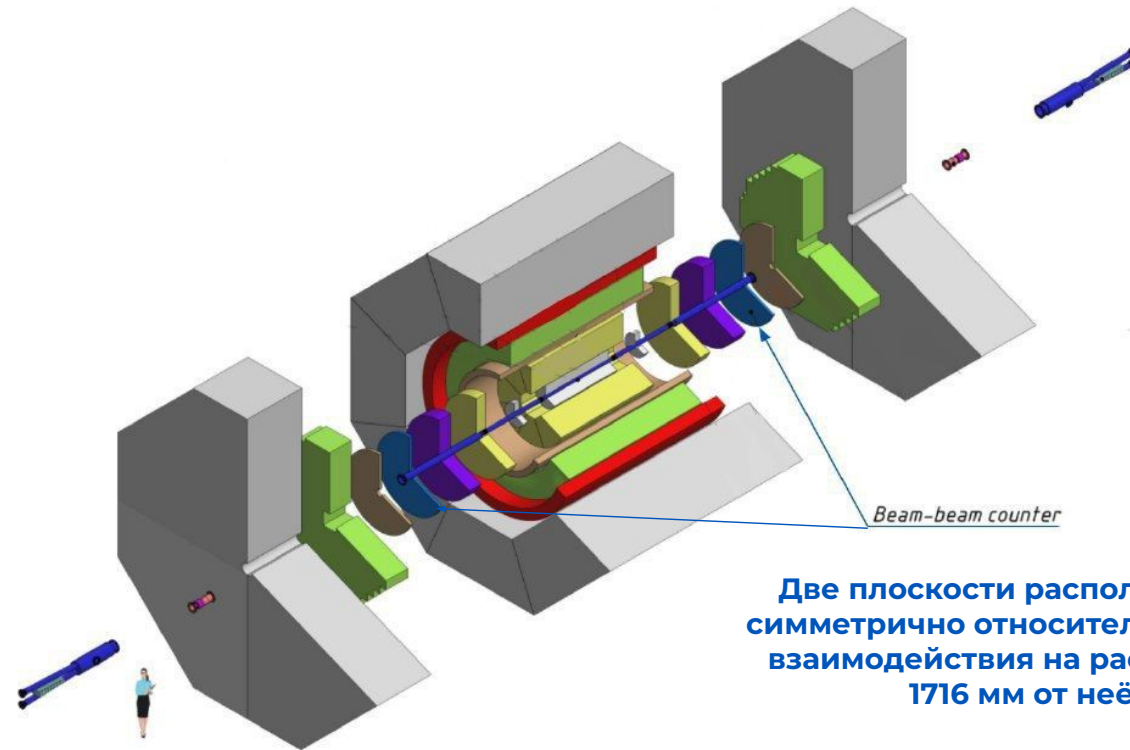
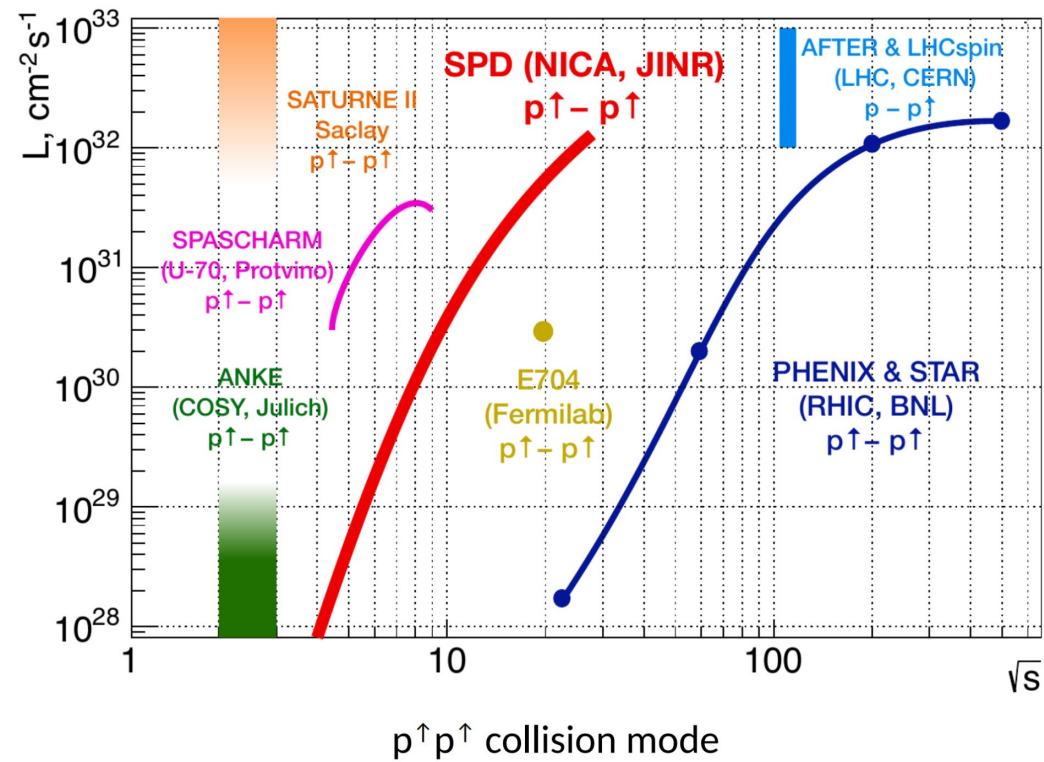
~30%      ~10-20%      ? ?

Вклад орбитальных моментов движения партонов в спин протона ещё не учтён

# Эксперимент SPD



# Эксперимент SPD и детектор BBC



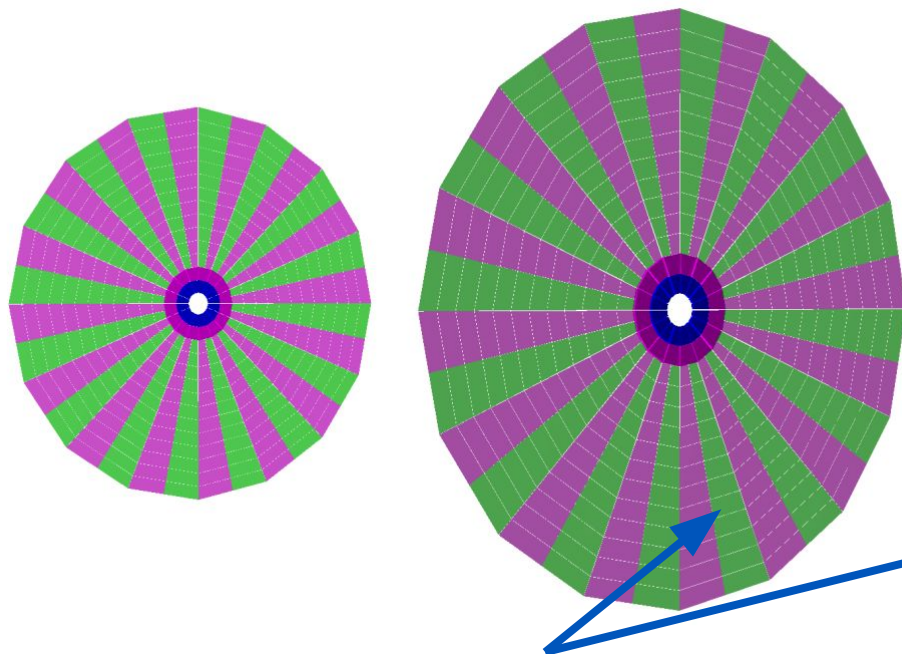
Две плоскости располагаются симметрично относительно точки взаимодействия на расстоянии 1716 мм от неё

Сравнение SPD с другими экспериментами

SPD и BBC

# Устройство ВВС и его модель

## Существующая модель



- 1) Нет углублений для оптоволоконна;
- 2) Нет точной настройки материалов.

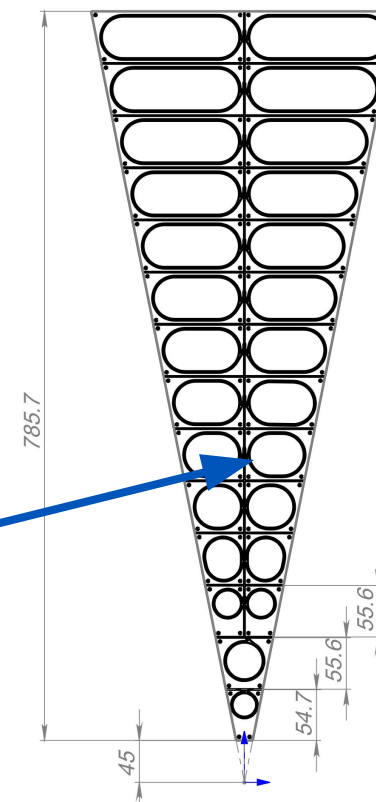
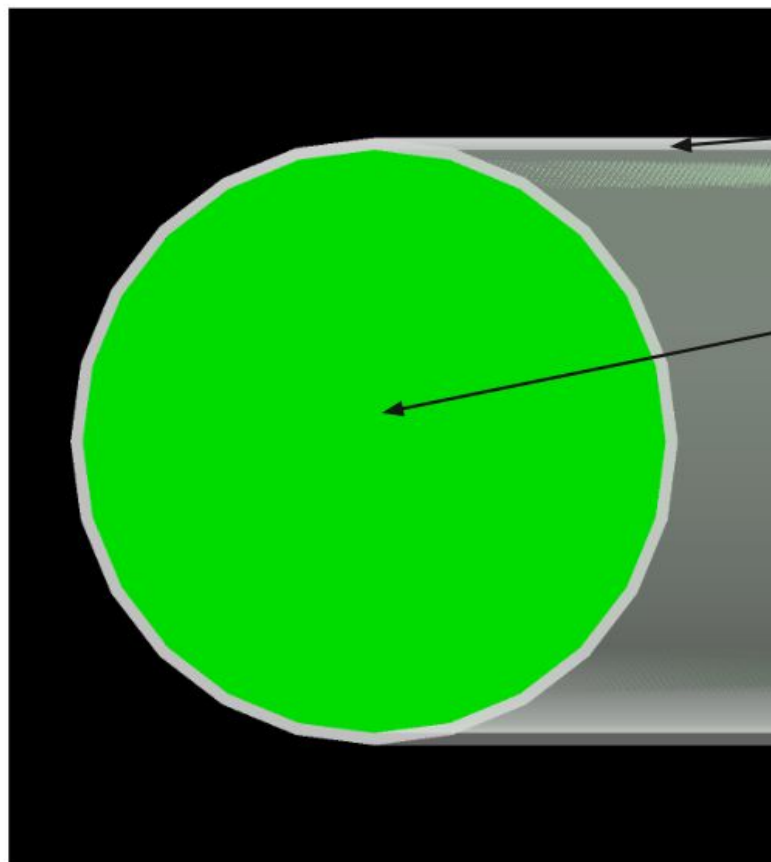


Чертёж сектора

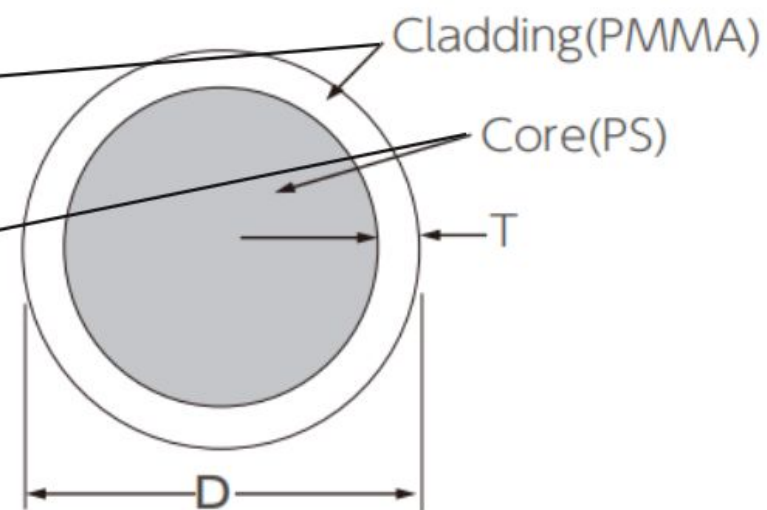
**Цель работы:**

**Создание уточнённой Geant4-модели детектора ВВС эксперимента SPD**

## Geant4 Модель



## Структура из спецификации

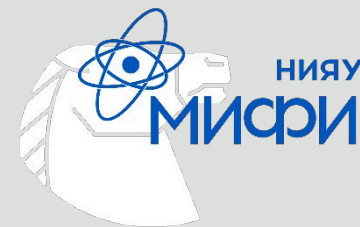


Cladding Thickness<sup>1)</sup>:  $T=2\%$  of  $D$   
Numerical Aperture:  $NA=0.55$   
Trapping Efficiency : 3.1%

# Этапы параметризации оптоволокна

- 1) Моделирование собирания рождённых от сцинтилляционной вспышки фотонов (выполняется непосредственно с помощью Geant4, настройка материалов на слайде 17, спектры на слайде 19, стенки модели зеркальные, есть потери в 2% от спектра поглощения пластика со слайда 25);
- 2) Оценка количества захваченных фотонов на основе спектра поглощения оптоволокна и параметра эффективности захвата ( $\text{trapping efficiency} = 4\%$ , спектр поглощения приведён на слайде 20);
- 3) Разыгрывание с помощью функции распределения эмиссионного спектра волокна (эмиссионный спектр приведён на слайде 20);
- 4) Учёт потерь на длине волокна и изгибах (потери на длине волны взяты на основе слайда 21 и равны 60%, потери на изгибе 4% взяты на основе слайда 22 и геометрии канавки 5 тайла);
- 5) Учёт потерь при переходе фотонов из оптоволокна в воздух (потери на отражение Френеля, численно значение равно 10%);

# Суммарные потери

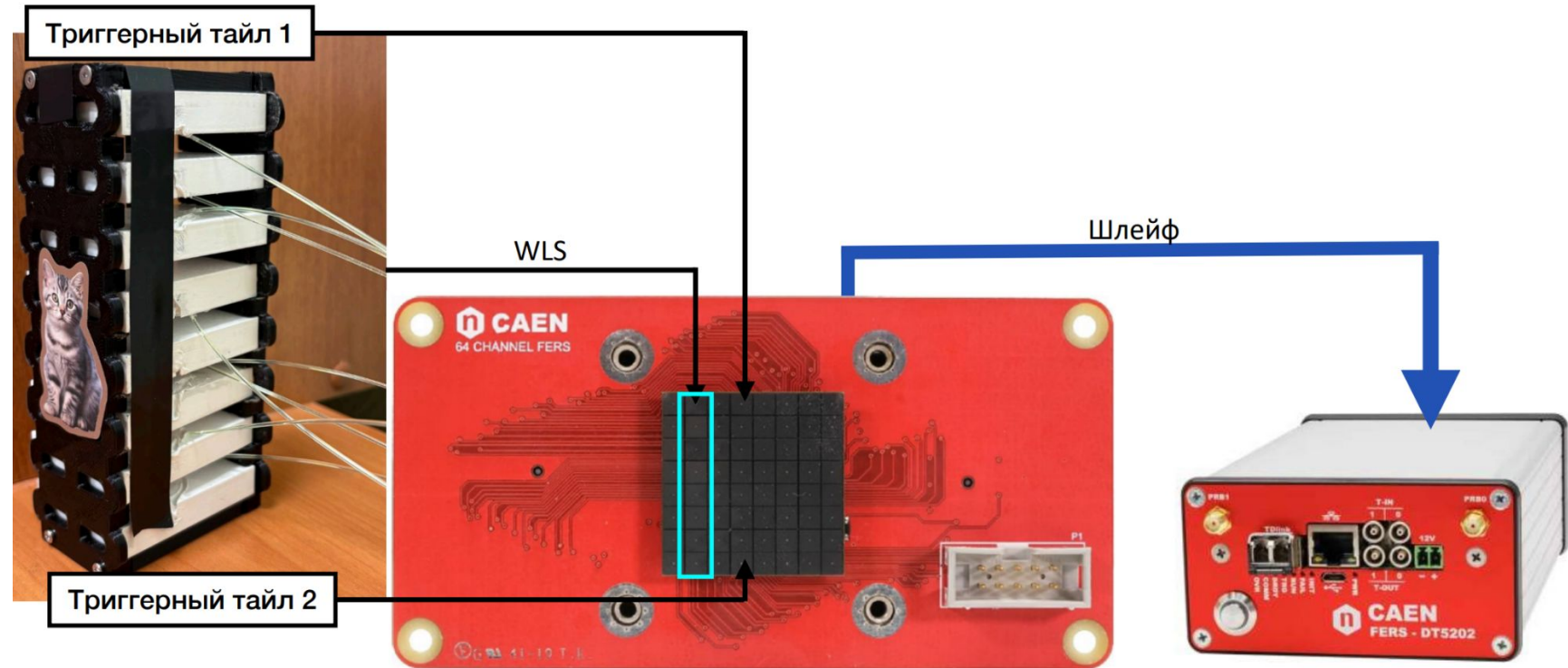


- 1) Поглощение пластика: 2%;
- 2) Потери на длине волокна: 60%;
- 3) Потери на изгибе 4%;
- 4) Френелевские потери: 10%.

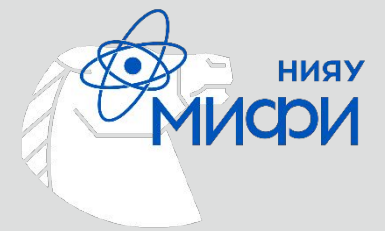
**Итого: 76%**

# Конфигурация экспериментальной установки

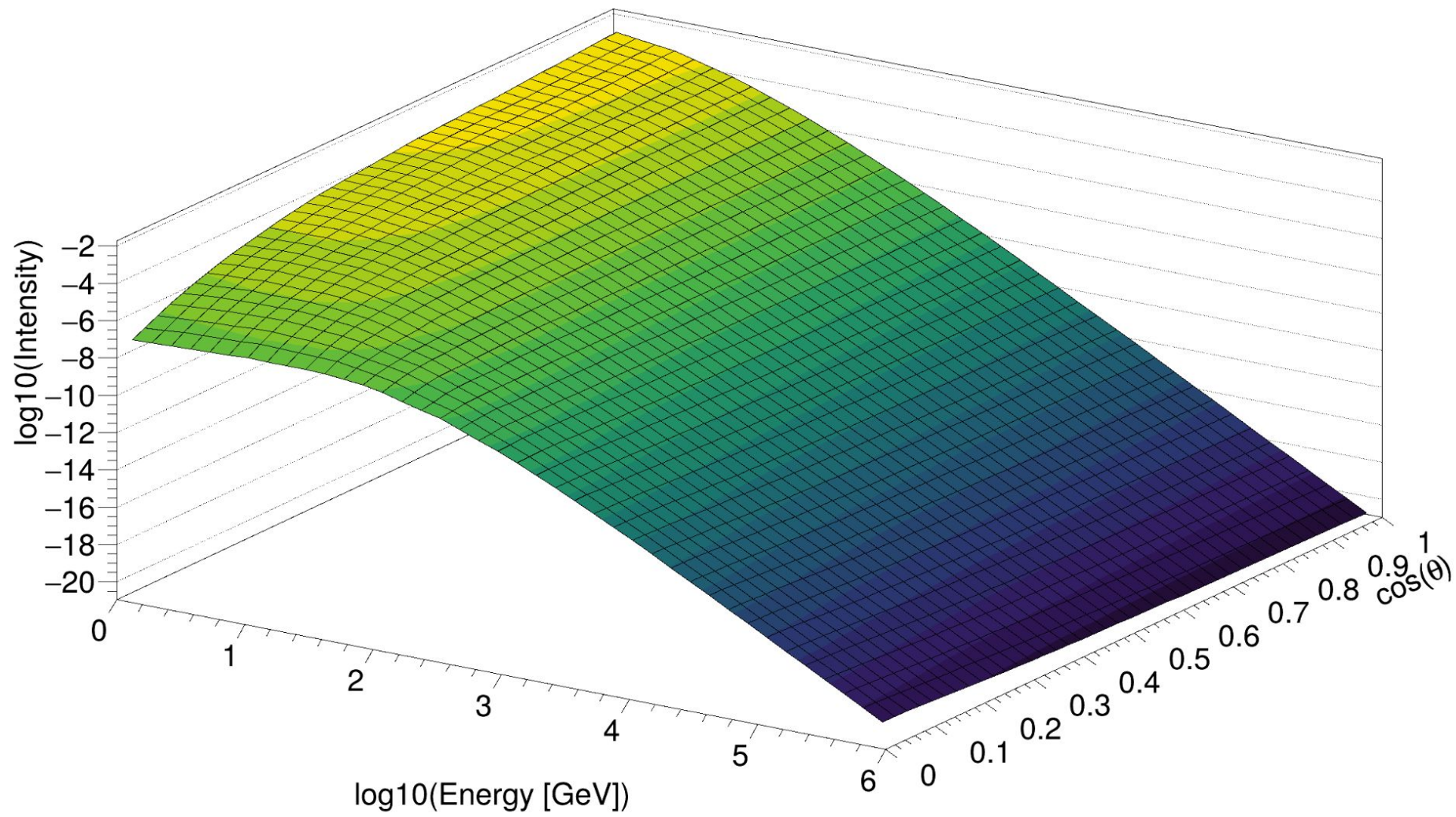
Телескоп состоит из восьми тайлов пятого ряда. Сбор света с рабочего вещества детектора происходит с помощью волокна SG VCF-92.



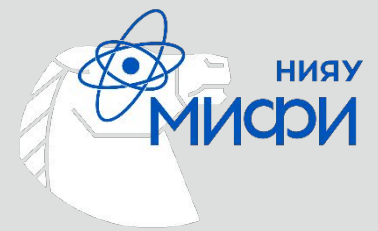
# Распределение мюонов по энергии и зенитному углу



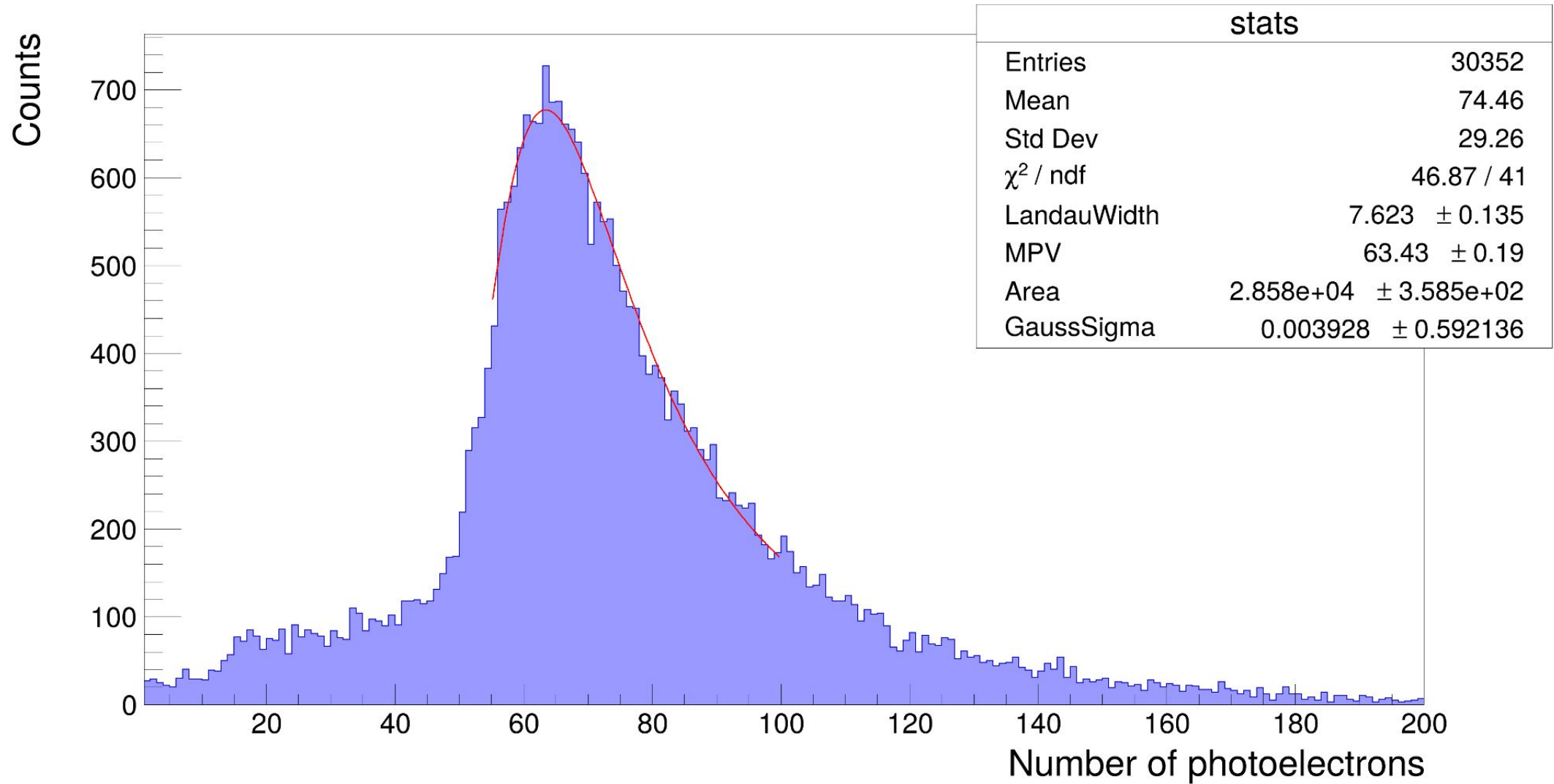
Muon Intensity (Lipari, 1993)



# Спектр фотоэлектронов: данные модели



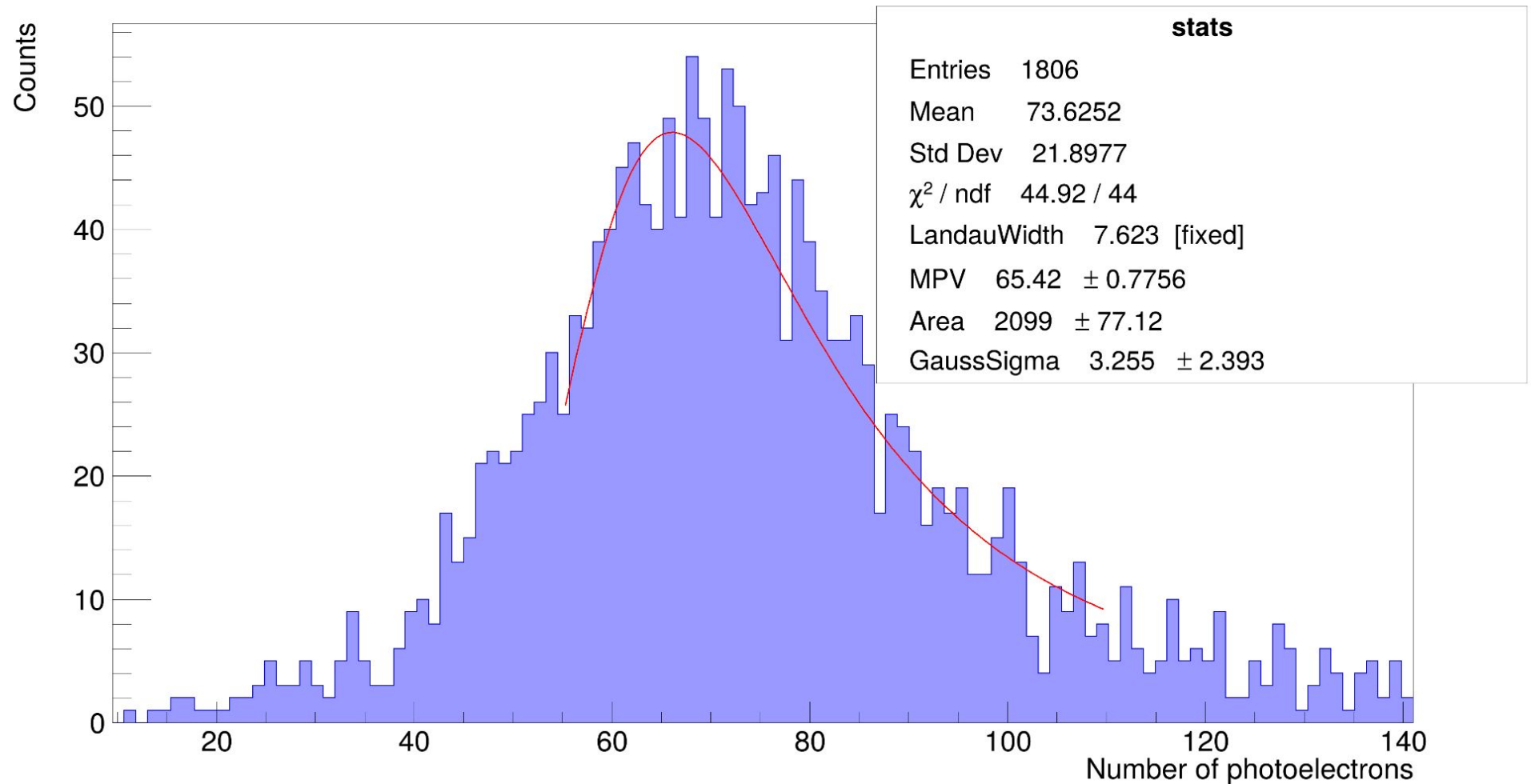
Photoelectrons spectrum (simulation)



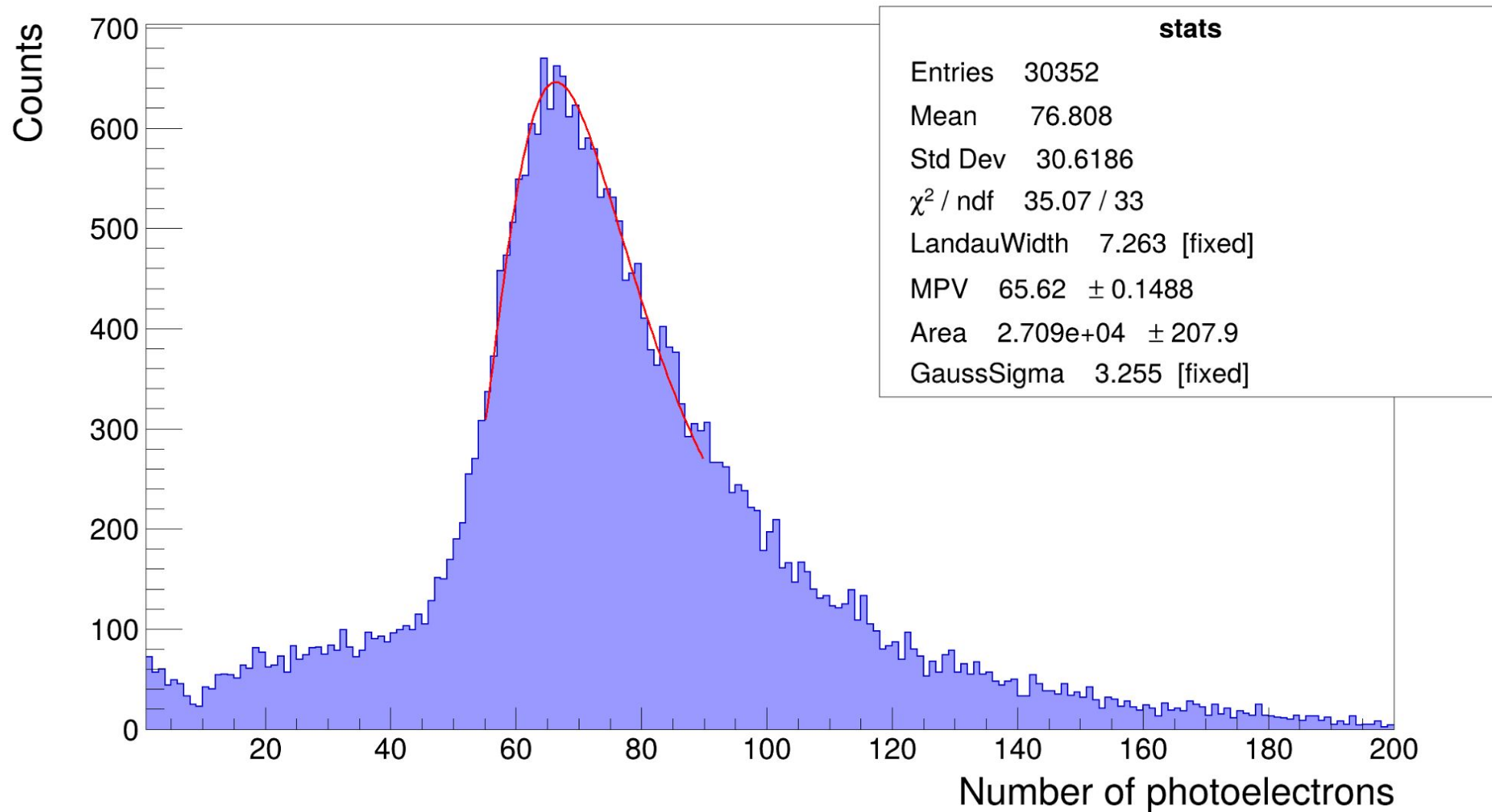
# Спектр фотоэлектронов: данные эксперимента



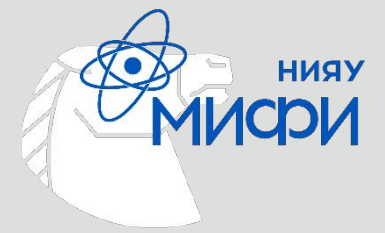
Photoelectrons spectrum (experiment)



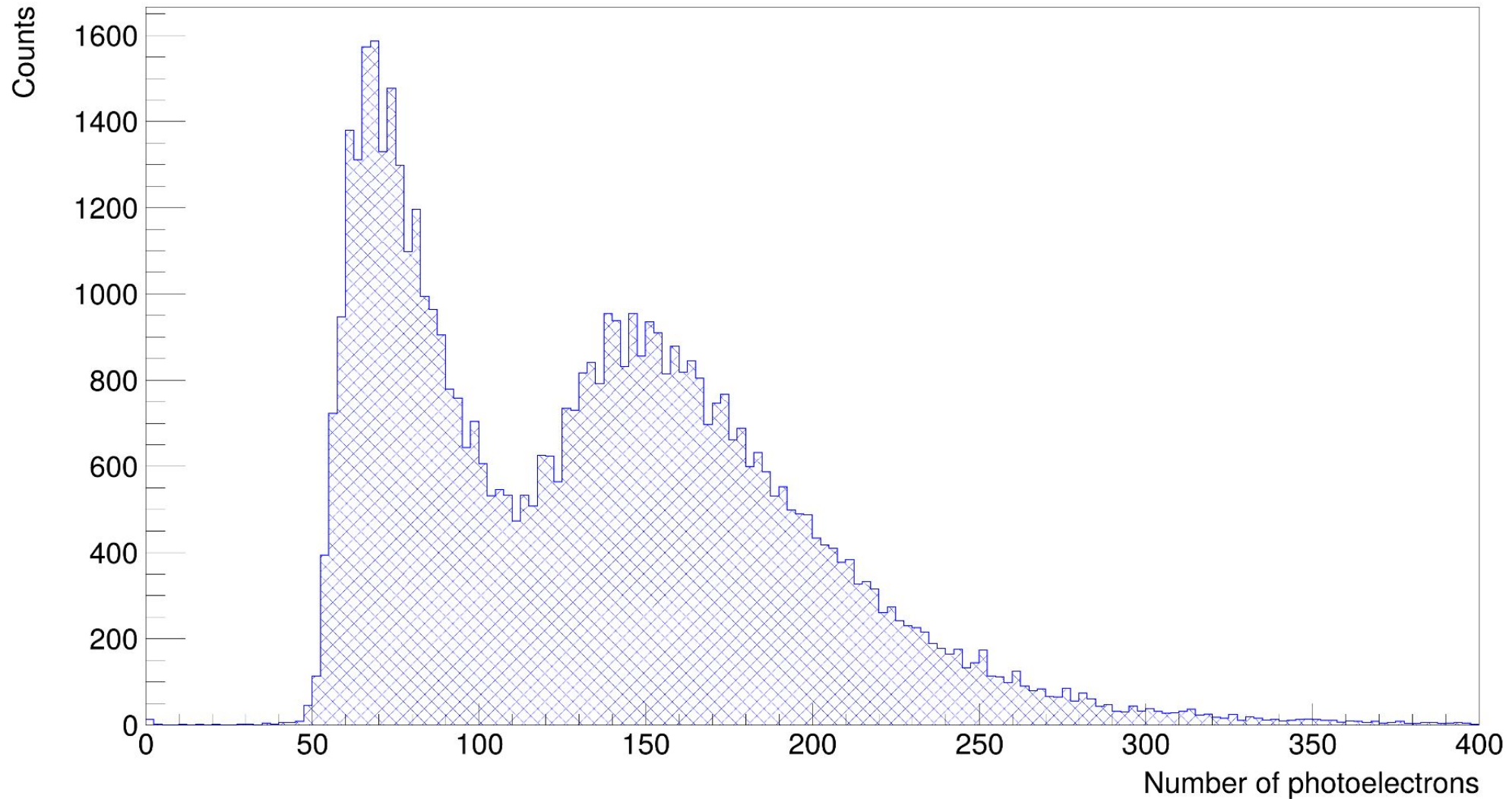
## Photoelectrons spectrum (simulation)



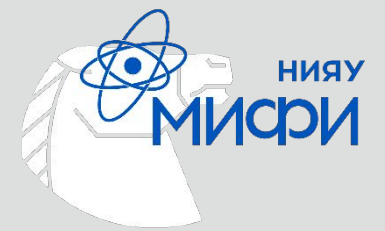
# Два мюона без добавления шума



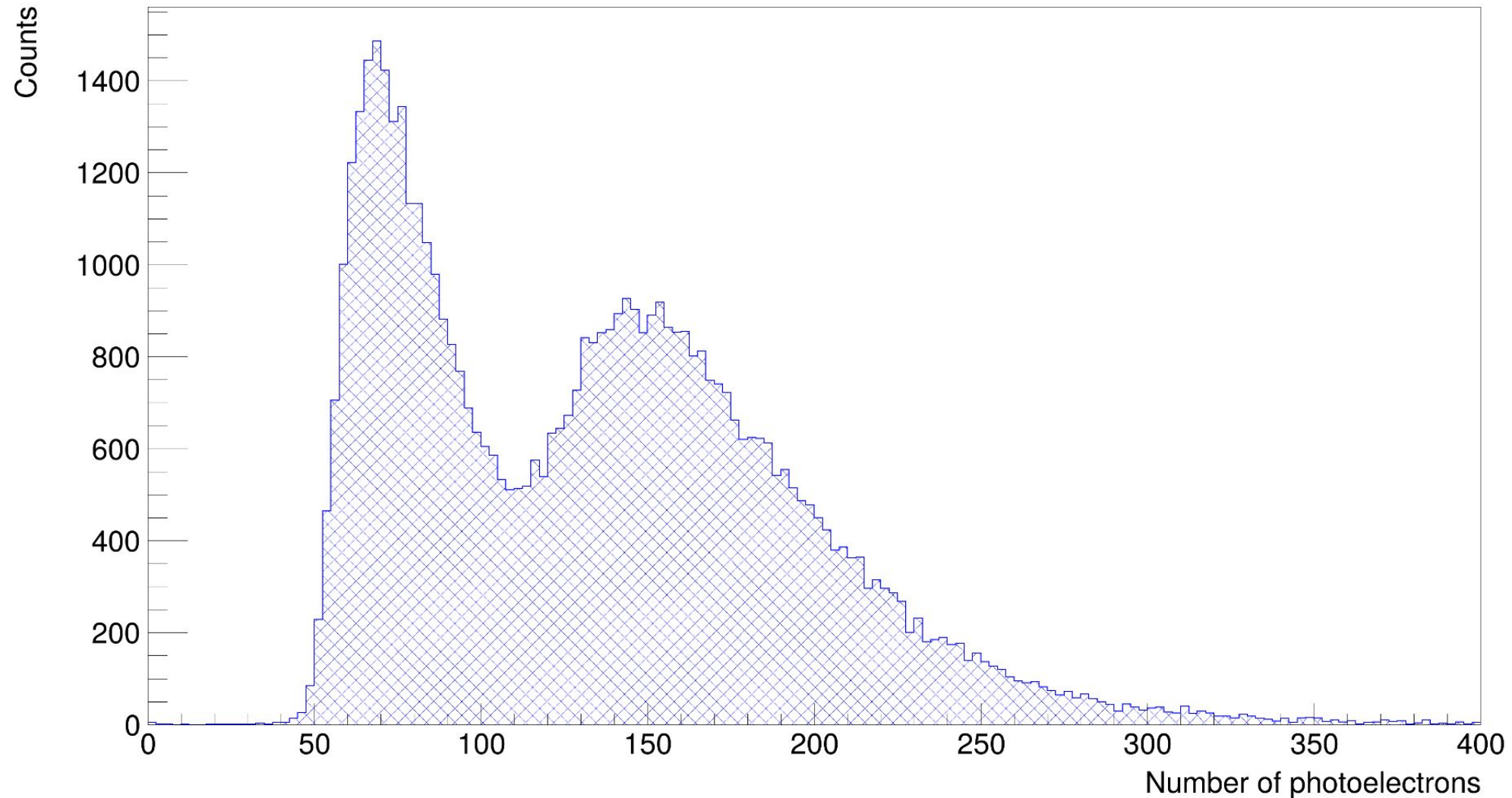
Photoelectrons spectrum



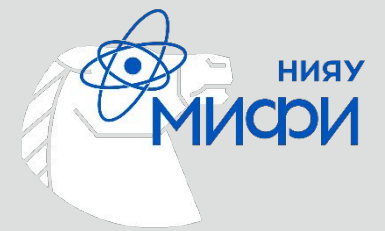
# Два мюона с шумом: $\sigma_{\text{noise}} = 3.26 \text{ фЭ}$



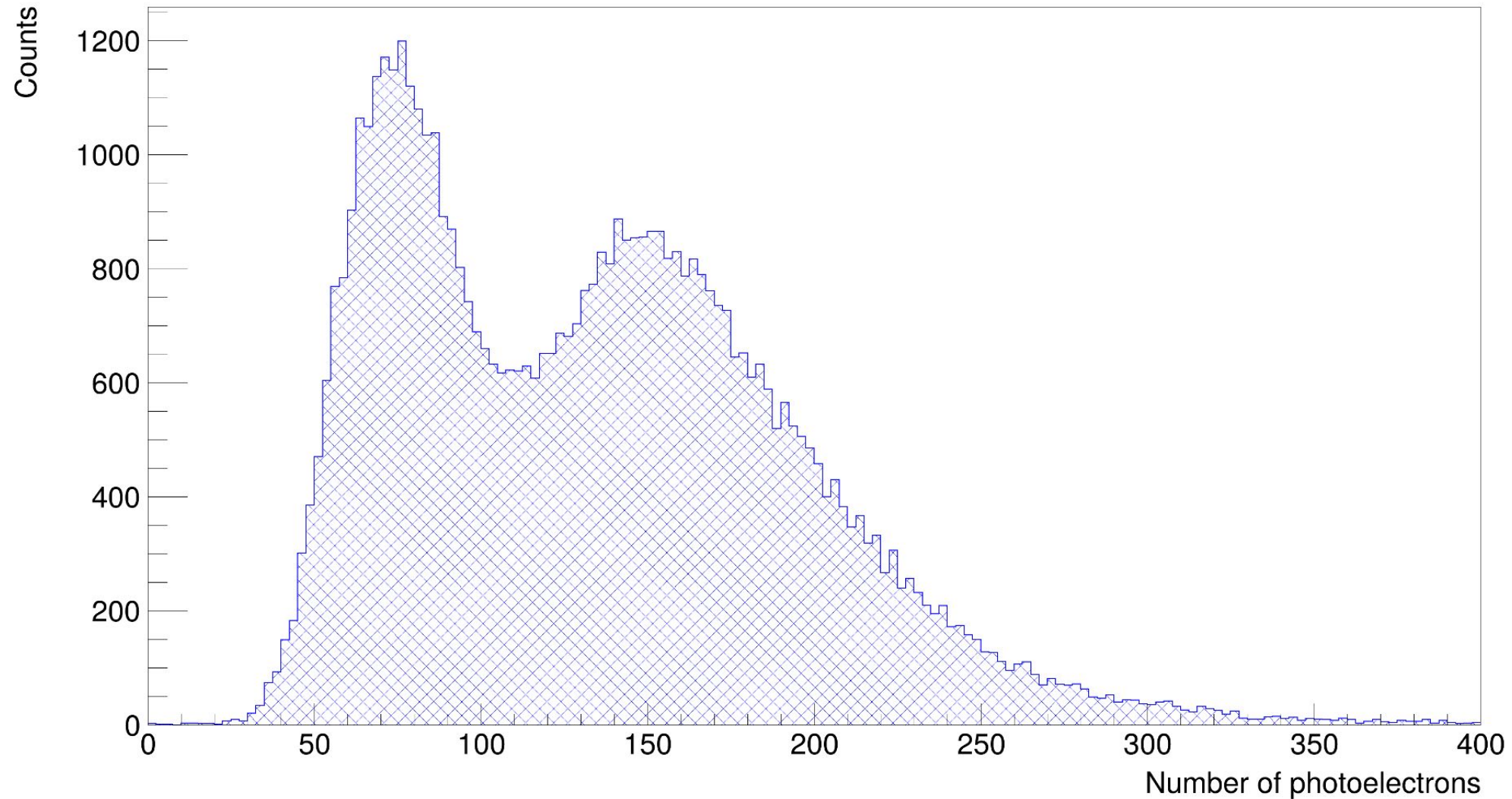
Photoelectrons spectrum



# С шумом по данным Дины: $\sigma_{\text{noise}} = 11.05$ фЭ



Photoelectrons spectrum





**Спасибо за внимание**

08.06.2026

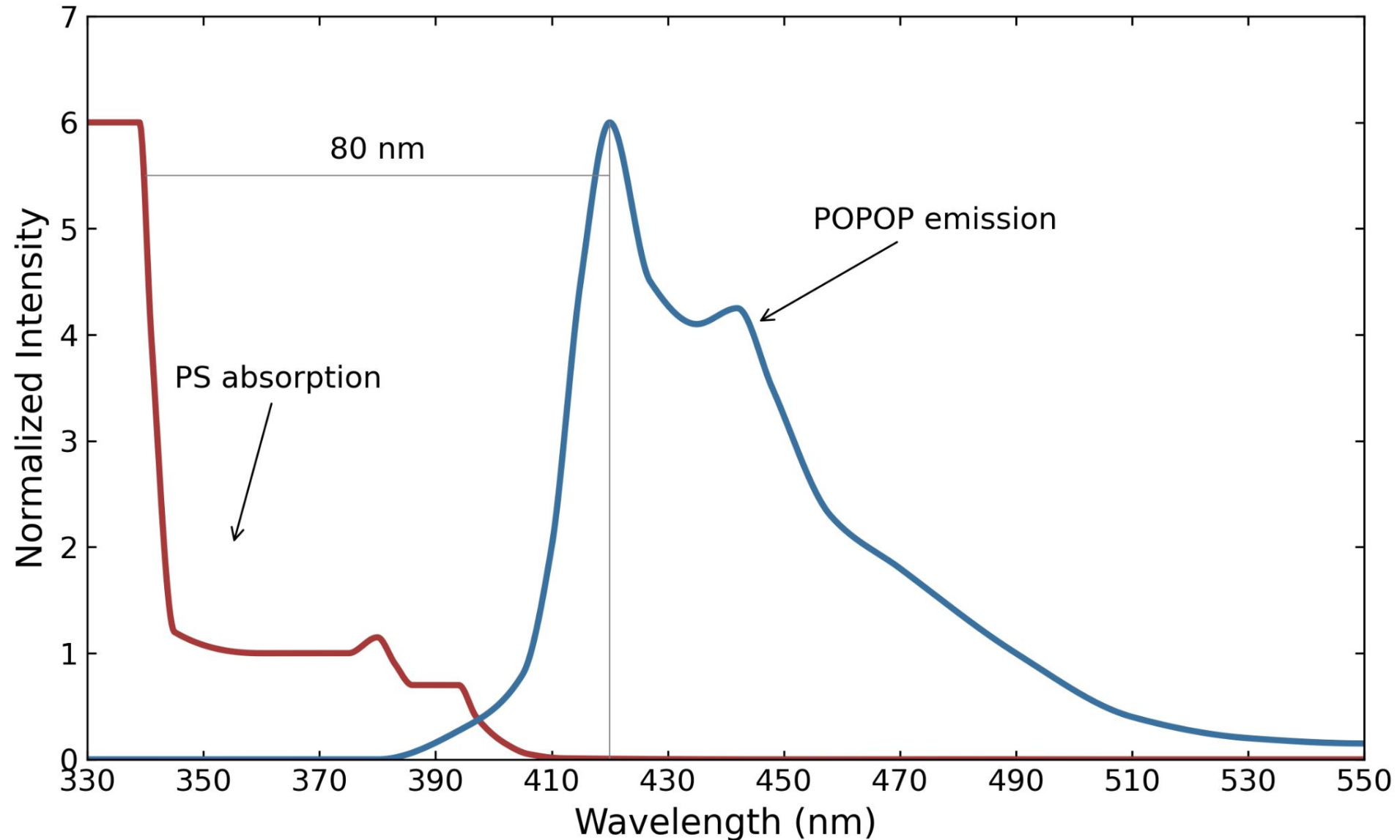
# Параметры материала сцинтиллятора

Название параметра в Geant4	Описание	Значение
DENSITY	Плотность вещества	$1.05 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$
RINDEX	Показатель преломления	1.64
SCINTILLATIONYIELD	Световыход	$12000 \frac{1}{\text{МэВ}}$
SCINTILLATIONYIELD1	Доля быстрой компоненты в световыходе	1.0
SCINTILLATION-TIMECONSTANT1	Время высвечивания быстрой компоненты сцинтилляционной вспышки	2.4 нс
SCINTILLATION-COMPONENT1	Спектр излучения быстрой компоненты	Задан двумя массивами (энергия фотонов - интенсивность)
ABSLENGTH	Спектр поглощения	Задан двумя массивами
RESOLUTIONSCALE	Размытие разрешения	1.0

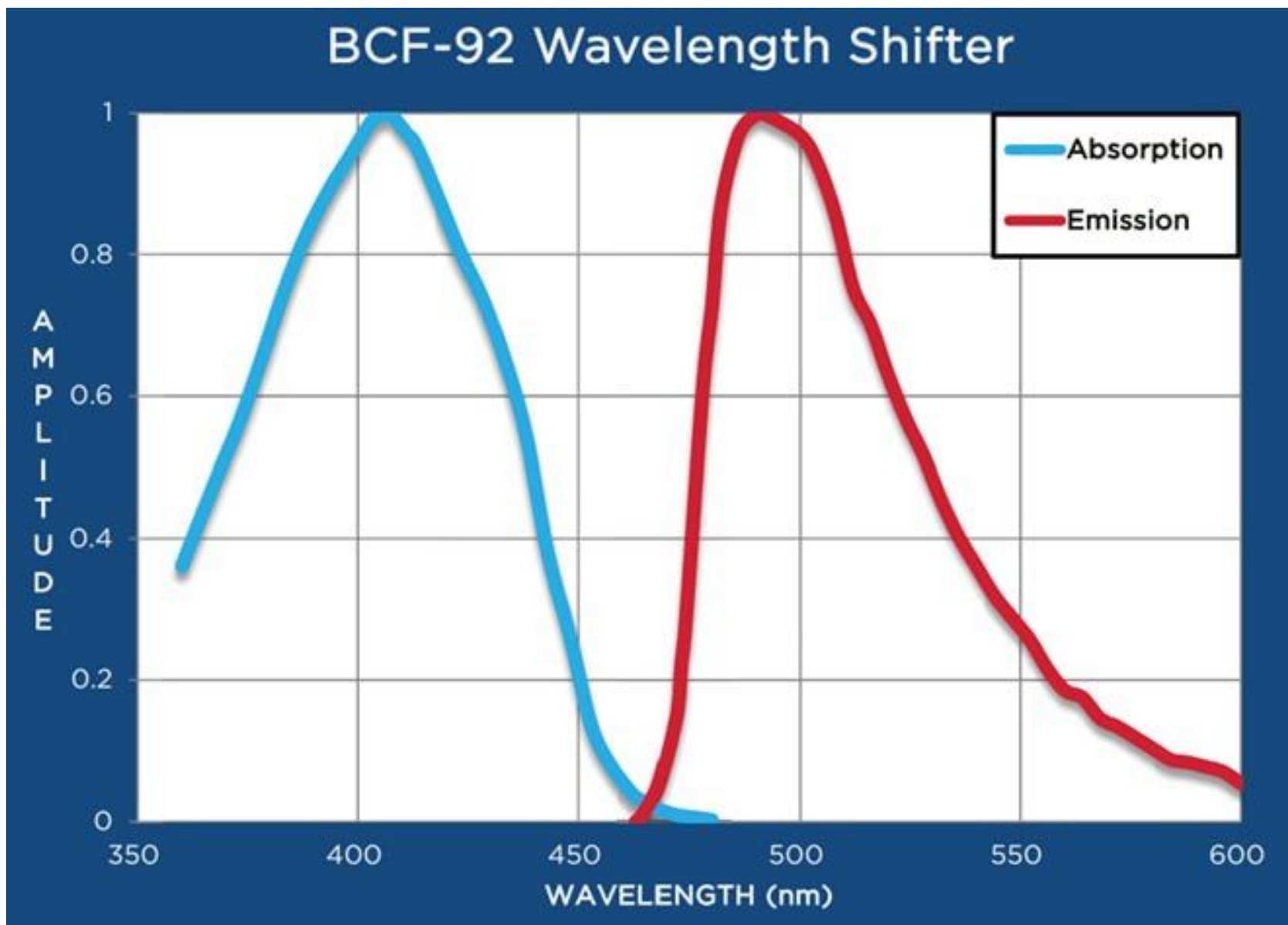
### Scintillation mixture:

- polystyrene Styrolution 124N – 98.0-98.5%
- p-Terphenyl (CAS 92-94-4) – 1.5-2.0%
- POPOP (CAS 1806-34-4) – 0.01-0.04%

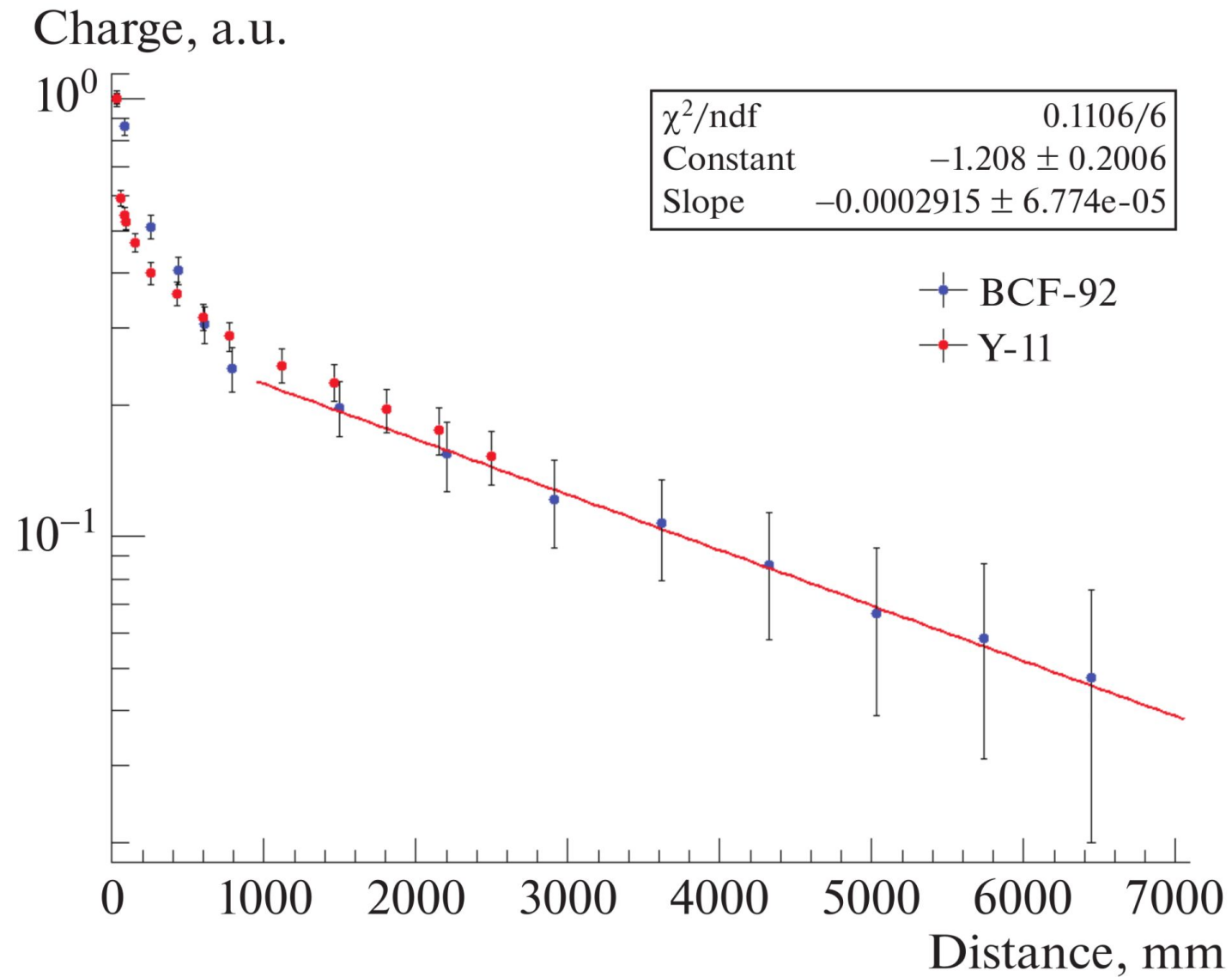
# Спектр излучения и поглощения сцинтиллятора



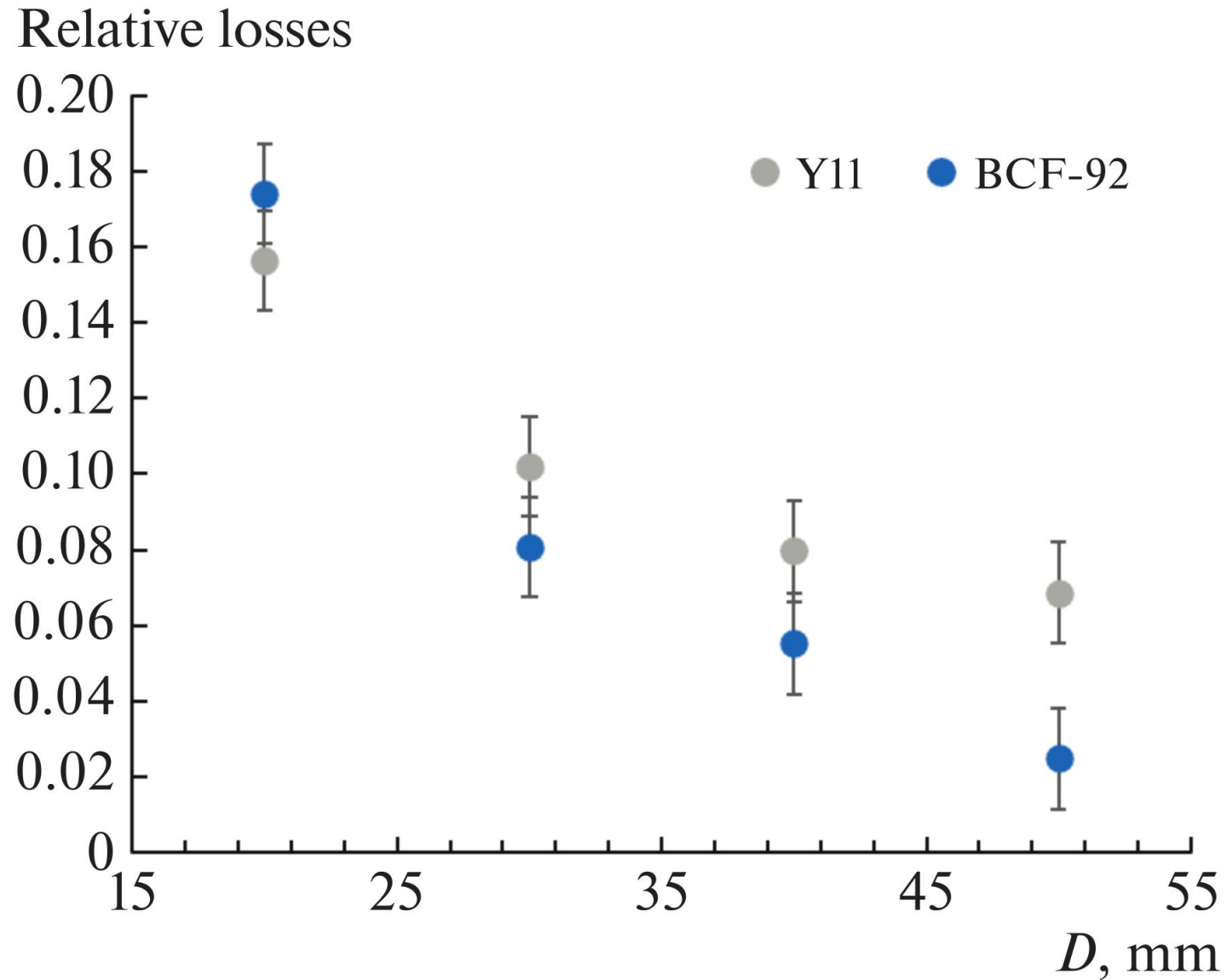
# Спектр излучения и поглощения оптоволокна

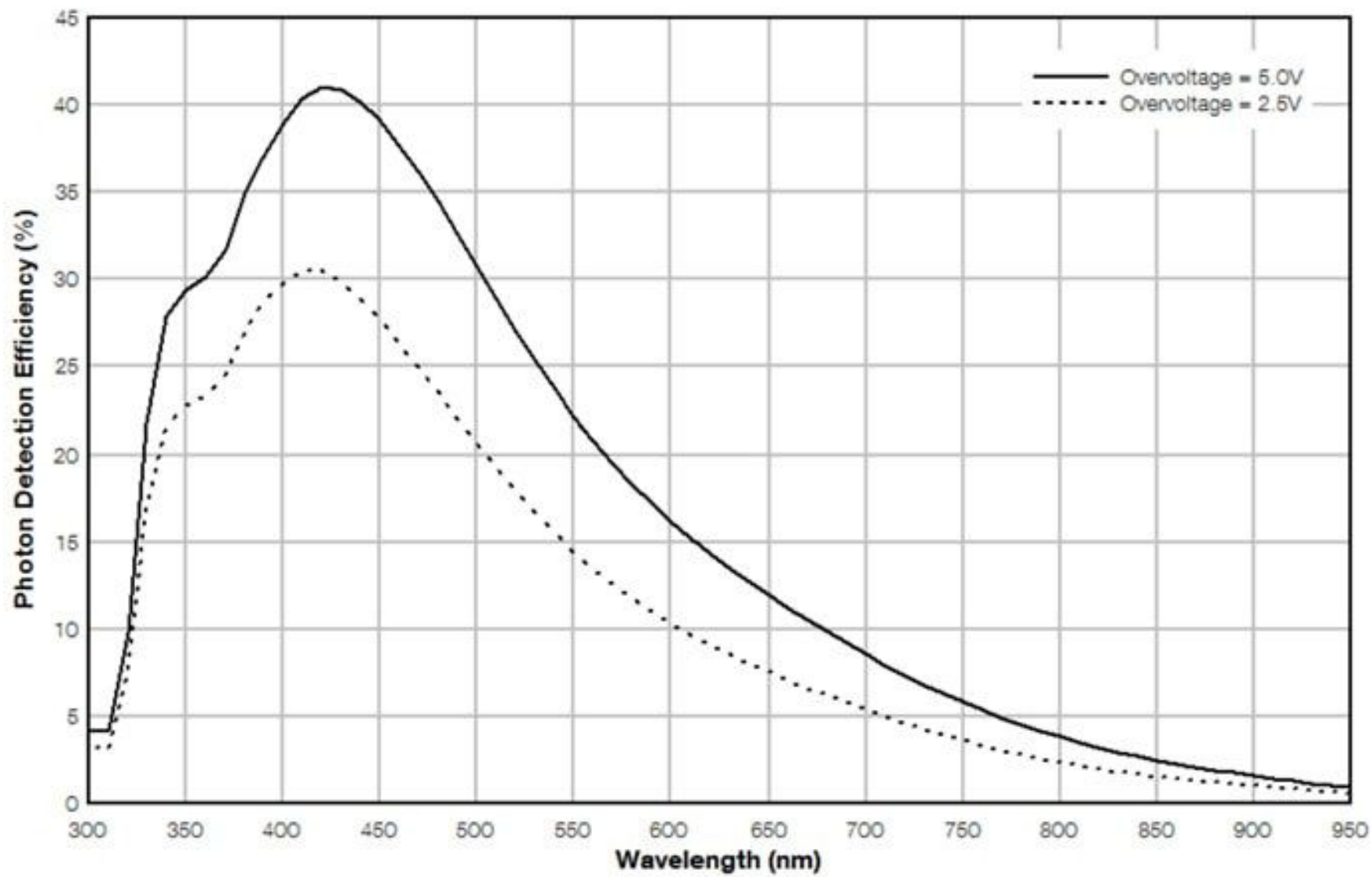


# Светопотери на длине оптоволокна



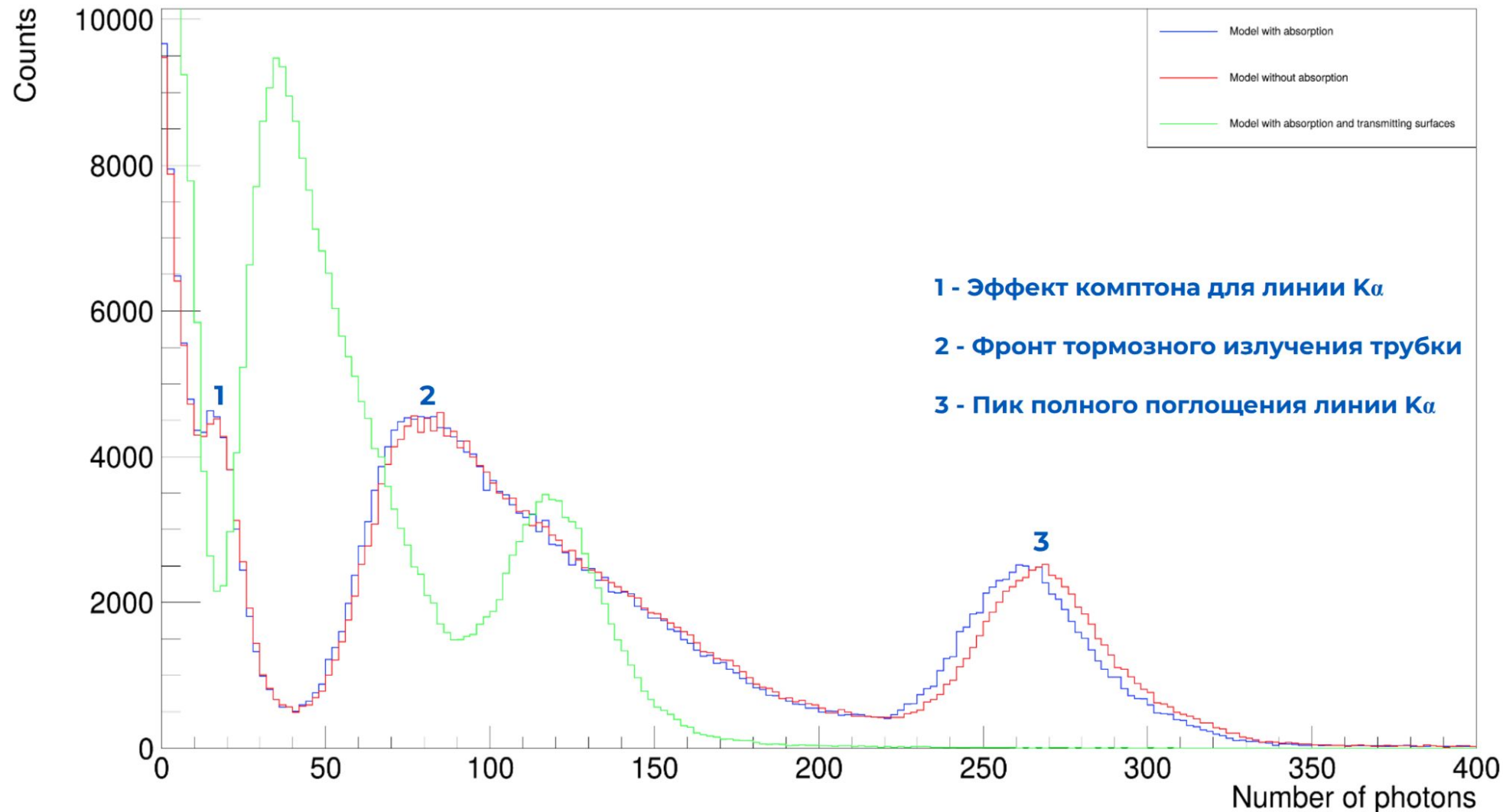
# Светопотери на изгибах оптоволокна





# Сравнение трёх конфигураций модели

Number of registered photons



# Таблица энергий и зенитных углов мюонов

Muon Energy GeV	Intensity [ $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}\text{sr}^{-1}\text{GeV}^{-1}$ ]							
	$\cos\theta$							
	1	0.6	0.4	0.3	0.2	0.1	0.05	0.0
1.0	$2.24 \cdot 10^{-3}$	$4.04 \cdot 10^{-4}$	$1.19 \cdot 10^{-4}$	$3.62 \cdot 10^{-5}$	$9.00 \cdot 10^{-6}$	$1.08 \cdot 10^{-6}$	$2.37 \cdot 10^{-7}$	$5.15 \cdot 10^{-8}$
3.16	$8.16 \cdot 10^{-4}$	$2.80 \cdot 10^{-4}$	$1.06 \cdot 10^{-4}$	$4.42 \cdot 10^{-5}$	$1.33 \cdot 10^{-5}$	$1.88 \cdot 10^{-6}$	$4.23 \cdot 10^{-7}$	$6.45 \cdot 10^{-8}$
10.0	$1.10 \cdot 10^{-4}$	$6.78 \cdot 10^{-5}$	$3.95 \cdot 10^{-5}$	$2.37 \cdot 10^{-5}$	$1.05 \cdot 10^{-5}$	$2.28 \cdot 10^{-6}$	$6.16 \cdot 10^{-7}$	$8.88 \cdot 10^{-8}$
31.6	$6.80 \cdot 10^{-6}$	$6.09 \cdot 10^{-6}$	$5.07 \cdot 10^{-6}$	$4.11 \cdot 10^{-6}$	$2.80 \cdot 10^{-6}$	$1.17 \cdot 10^{-6}$	$4.75 \cdot 10^{-7}$	$9.54 \cdot 10^{-8}$
100	$2.48 \cdot 10^{-7}$	$2.81 \cdot 10^{-7}$	$2.91 \cdot 10^{-7}$	$2.84 \cdot 10^{-7}$	$2.59 \cdot 10^{-7}$	$1.87 \cdot 10^{-7}$	$1.21 \cdot 10^{-7}$	$4.55 \cdot 10^{-8}$
316	$6.06 \cdot 10^{-9}$	$8.12 \cdot 10^{-9}$	$9.78 \cdot 10^{-9}$	$1.08 \cdot 10^{-8}$	$1.18 \cdot 10^{-8}$	$1.18 \cdot 10^{-8}$	$1.04 \cdot 10^{-8}$	$6.78 \cdot 10^{-9}$
1000	$1.14 \cdot 10^{-10}$	$1.69 \cdot 10^{-10}$	$2.24 \cdot 10^{-10}$	$2.67 \cdot 10^{-10}$	$3.28 \cdot 10^{-10}$	$4.02 \cdot 10^{-10}$	$4.19 \cdot 10^{-10}$	$3.69 \cdot 10^{-10}$
3160	$1.87 \cdot 10^{-12}$	$2.91 \cdot 10^{-12}$	$4.06 \cdot 10^{-12}$	$5.06 \cdot 10^{-12}$	$6.65 \cdot 10^{-12}$	$9.14 \cdot 10^{-12}$	$1.04 \cdot 10^{-11}$	$1.05 \cdot 10^{-11}$
$1.00 \cdot 10^4$	$2.81 \cdot 10^{-14}$	$4.50 \cdot 10^{-14}$	$6.47 \cdot 10^{-14}$	$8.26 \cdot 10^{-14}$	$1.13 \cdot 10^{-13}$	$1.64 \cdot 10^{-13}$	$1.95 \cdot 10^{-13}$	$2.07 \cdot 10^{-13}$
$3.16 \cdot 10^4$	$4.06 \cdot 10^{-16}$	$6.58 \cdot 10^{-16}$	$9.60 \cdot 10^{-16}$	$1.24 \cdot 10^{-15}$	$1.72 \cdot 10^{-15}$	$2.60 \cdot 10^{-15}$	$3.16 \cdot 10^{-15}$	$3.42 \cdot 10^{-15}$
$1.00 \cdot 10^5$	$5.78 \cdot 10^{-18}$	$9.41 \cdot 10^{-18}$	$1.38 \cdot 10^{-17}$	$1.79 \cdot 10^{-17}$	$2.51 \cdot 10^{-17}$	$3.85 \cdot 10^{-17}$	$4.72 \cdot 10^{-17}$	$5.16 \cdot 10^{-17}$
$3.16 \cdot 10^5$	$8.18 \cdot 10^{-20}$	$1.33 \cdot 10^{-19}$	$1.96 \cdot 10^{-19}$	$2.55 \cdot 10^{-19}$	$3.59 \cdot 10^{-19}$	$5.53 \cdot 10^{-19}$	$6.81 \cdot 10^{-19}$	$7.47 \cdot 10^{-19}$
$1.00 \cdot 10^6$	$1.16 \cdot 10^{-21}$	$1.89 \cdot 10^{-21}$	$2.78 \cdot 10^{-21}$	$3.61 \cdot 10^{-21}$	$5.08 \cdot 10^{-21}$	$7.86 \cdot 10^{-21}$	$9.68 \cdot 10^{-21}$	$1.06 \cdot 10^{-20}$

Table 3.27: Muon Intensity,  $\mu^+ + \mu^-$ , at sea level.  
(Lipari, 1993)