



Тема доклада:

«Математические модели взаимодействия
гамма-излучения с веществом, удобные для
реализации в учебном процессе»

Докладчики:

Каладзе Владимир Александрович

Работкин Владимир Александрович

Задачи:

- Разработка аппроксимационной статистической модели взаимодействия гамма-излучения с веществом.
- Разработка и реализация программных генераторов случайных чисел с показательным распределением, распределением Пуассона и построение зависимости, описывающей угловое распределение рассеянных гамма-квантов
- Проведение вычислительного эксперимента для проверки адекватности модели.

Актуальность

- При моделировании сложных физических процессов, имеющих статистическую природу, естественным представляется использование метода статистических испытаний. Сущность метода состоит в том, что процесс прохождения потока квантов через вещество рассматривается как ансамбль конечного числа элементарных случайных траекторий. Для реализации такого подхода приходится численно решать прямую задачу движения большого ансамбля квантов в веществе с учётом эффектов рассеяния и поглощения. Существующие библиотеки подпрограмм моделирования в основном ориентируются на профессиональных пользователей, обладающих необходимыми компетенциями, как в программировании, так и в ядерной физике. Поэтому более удобным оказывается самостоятельная разработка модели и реализация расчётных программ.

Исходные данные модели:

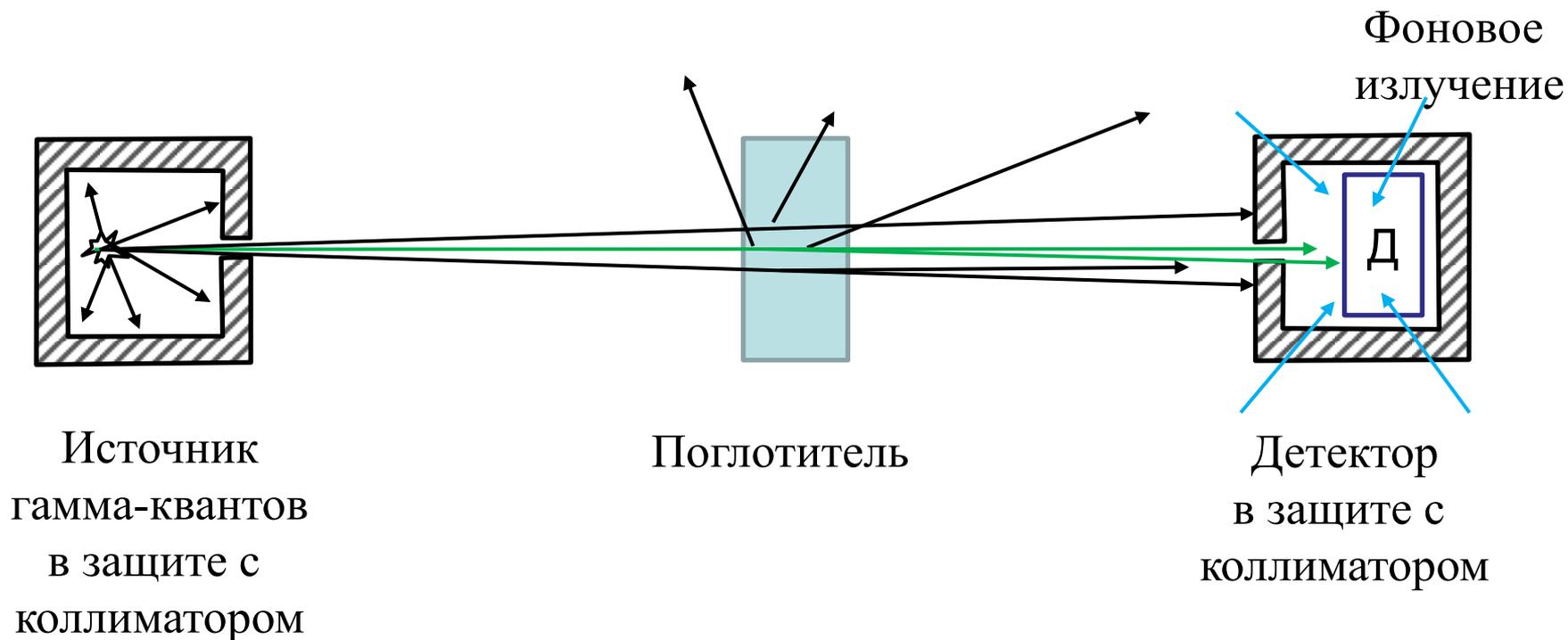
- Характеристики вещества
- Характеристики гамма-квантов
- Геометрия моделирования

Результаты вычислительного эксперимента:

- Пространственное распределение гамма-квантов
- Энергетическое распределение гамма-квантов
- Число гамма-квантов, зарегистрированных детектором

Схема натурального эксперимента

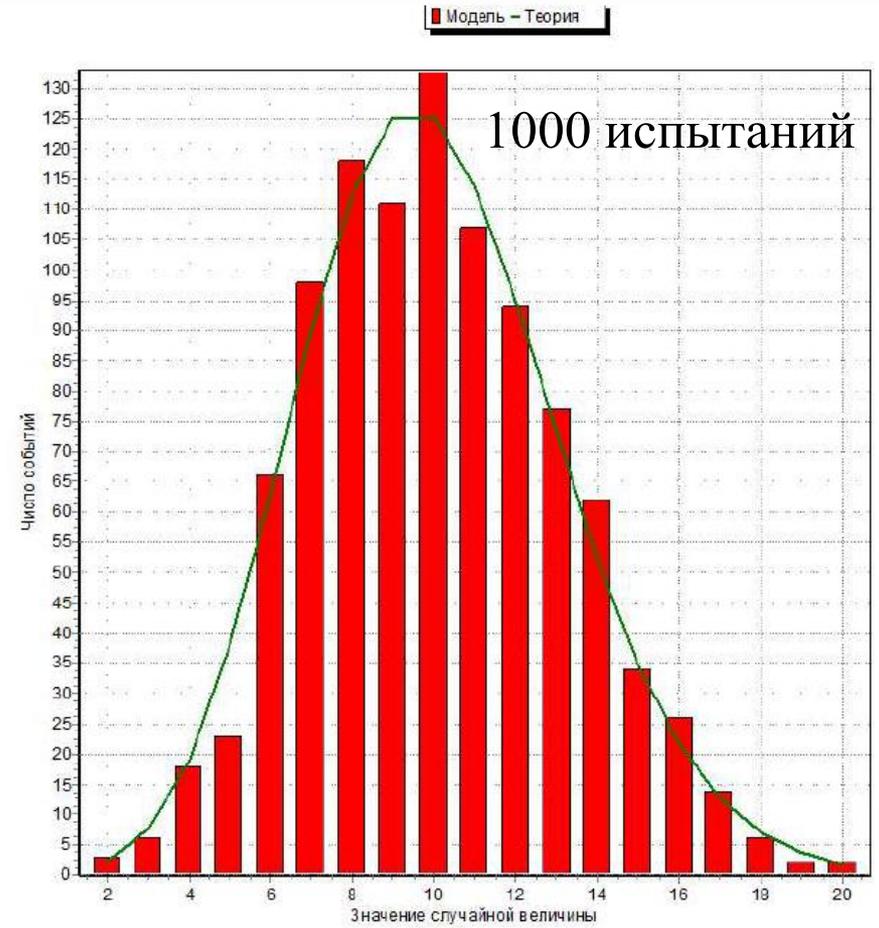
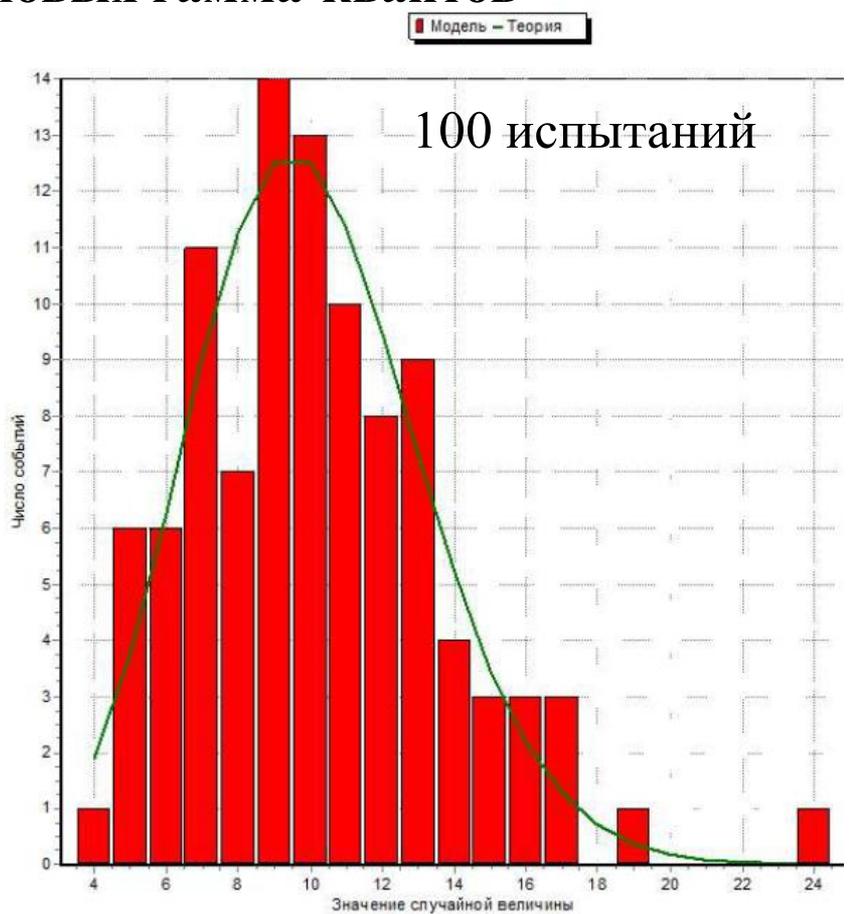
Лабораторная работа «Определение полного линейного коэффициента ослабления гамма-квантов в веществе»



Укрупненная схема вычислительного эксперимента

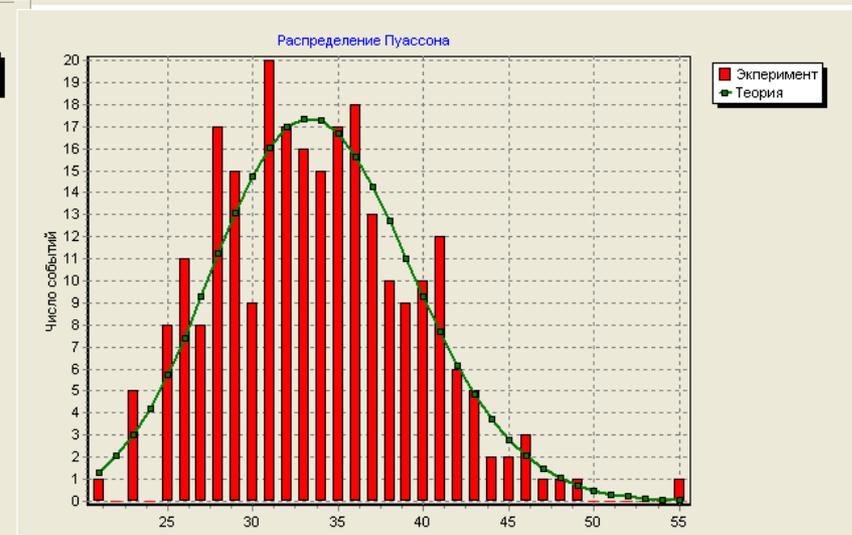
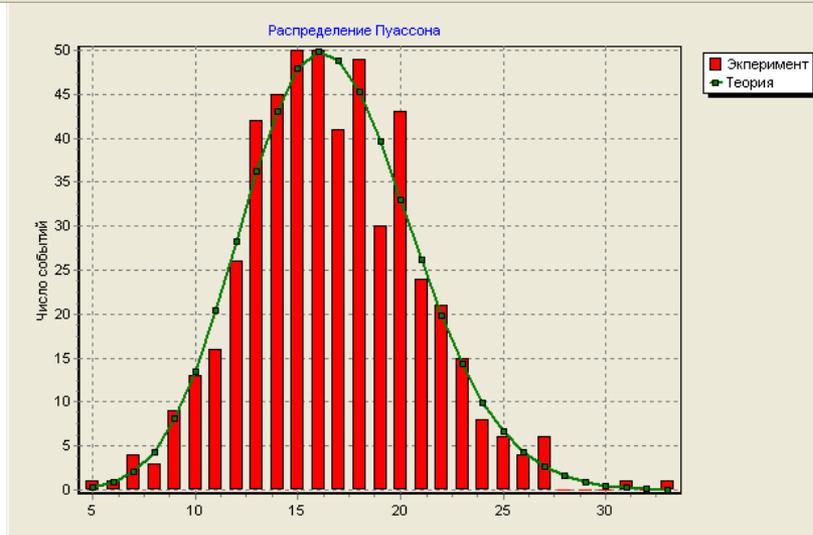
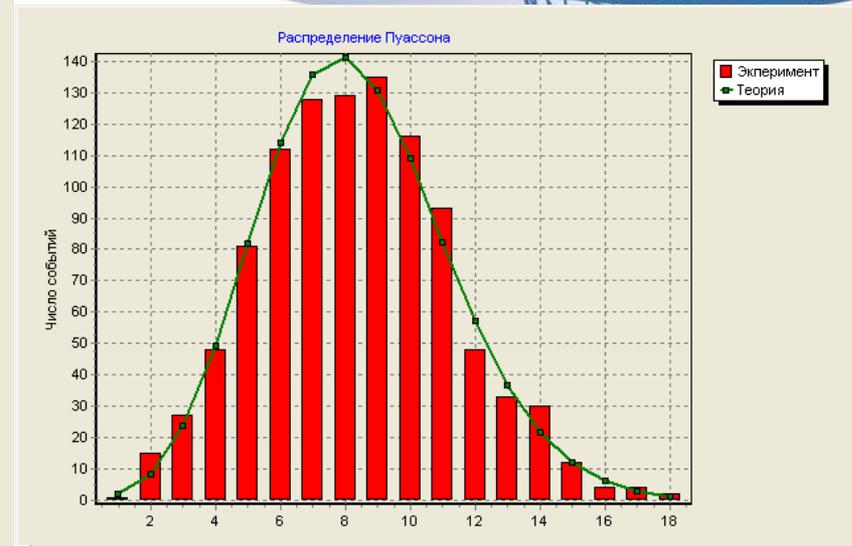
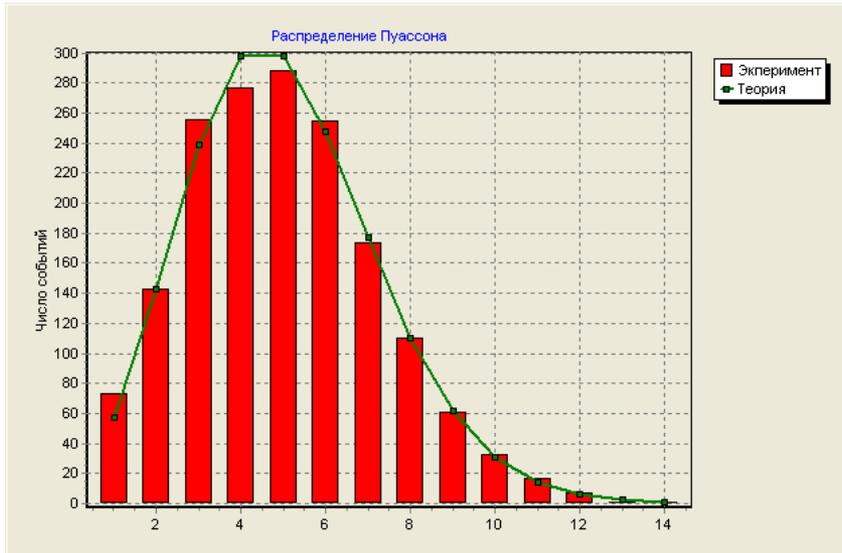


Моделирование интенсивности источника и интенсивности фоновых гамма-квантов



Сравнение результатов вычислительного эксперимента с теоретическим λ распределением Пуассона для разного числа испытаний

Сравнение теоретического и моделируемого распределения Пуассона для разных средних значений.



Моделирование пробега гамма-кванта в веществе и механизма взаимодействия с веществом

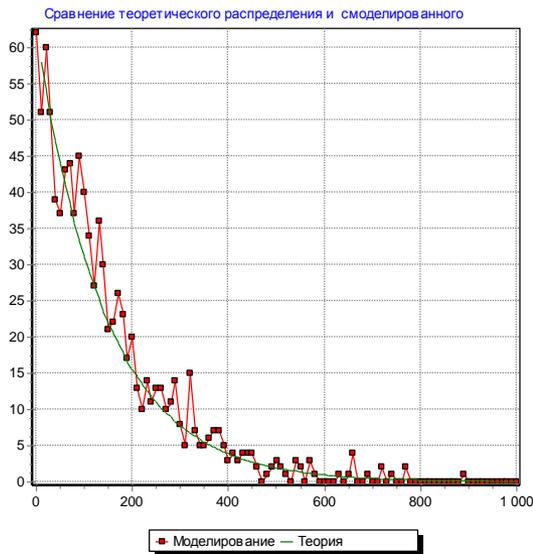
Пробег гамма-кванта в веществе до точки взаимодействия x , см

$$x \quad \text{—————} \quad \mu = \mu_{\text{фото}} + \mu_{\text{комп}} + \mu_{\text{пар}}$$

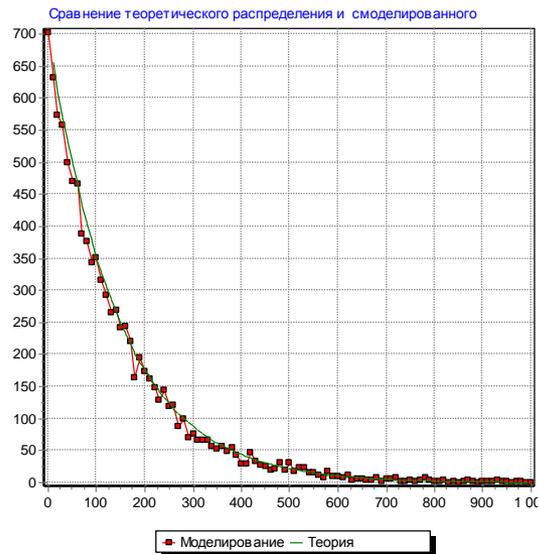
Механизм взаимодействия

$$A_{\text{фото}} = \frac{\mu_{\text{фото}}}{\mu}, \quad A_{\text{комп}} = \frac{\mu_{\text{комп}}}{\mu}, \quad A_{\text{пар}} = \frac{\mu_{\text{пар}}}{\mu},$$

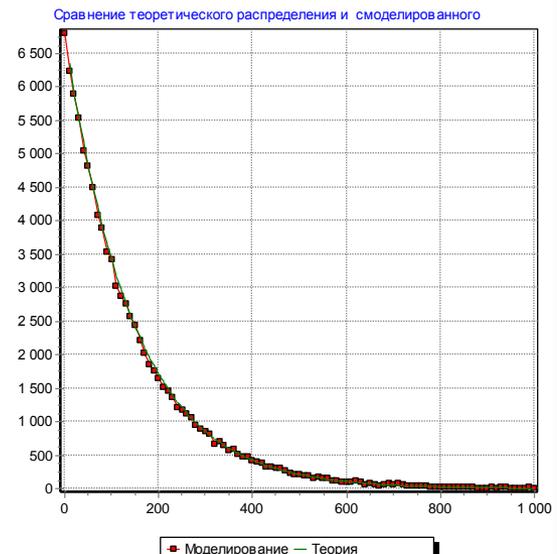
Выявление эффективного объёма выборки для построения адекватной модели



1000 испытаний



10000 испытаний



100000 испытаний

Обоснование применимости аппроксимационной модели для описания рассеяния гамма-квантов

Дифференциальное сечение (вероятность) КОМПТОНОВСКОГО рассеяния на угол θ имеет вид:

$$d\sigma(\theta) = r_e^2 \frac{1 + \cos^2 \theta}{2} \frac{d\Omega}{[1 + \varepsilon(1 - \cos \theta)]^2} \left\{ 1 + \frac{\varepsilon^2 (1 - \cos \theta)^2}{(1 + \cos^2 \theta)[1 + \varepsilon(1 - \cos \theta)]} \right\}$$

где r_e - радиус орбиты электрона, ε - энергия гамма-кванта.

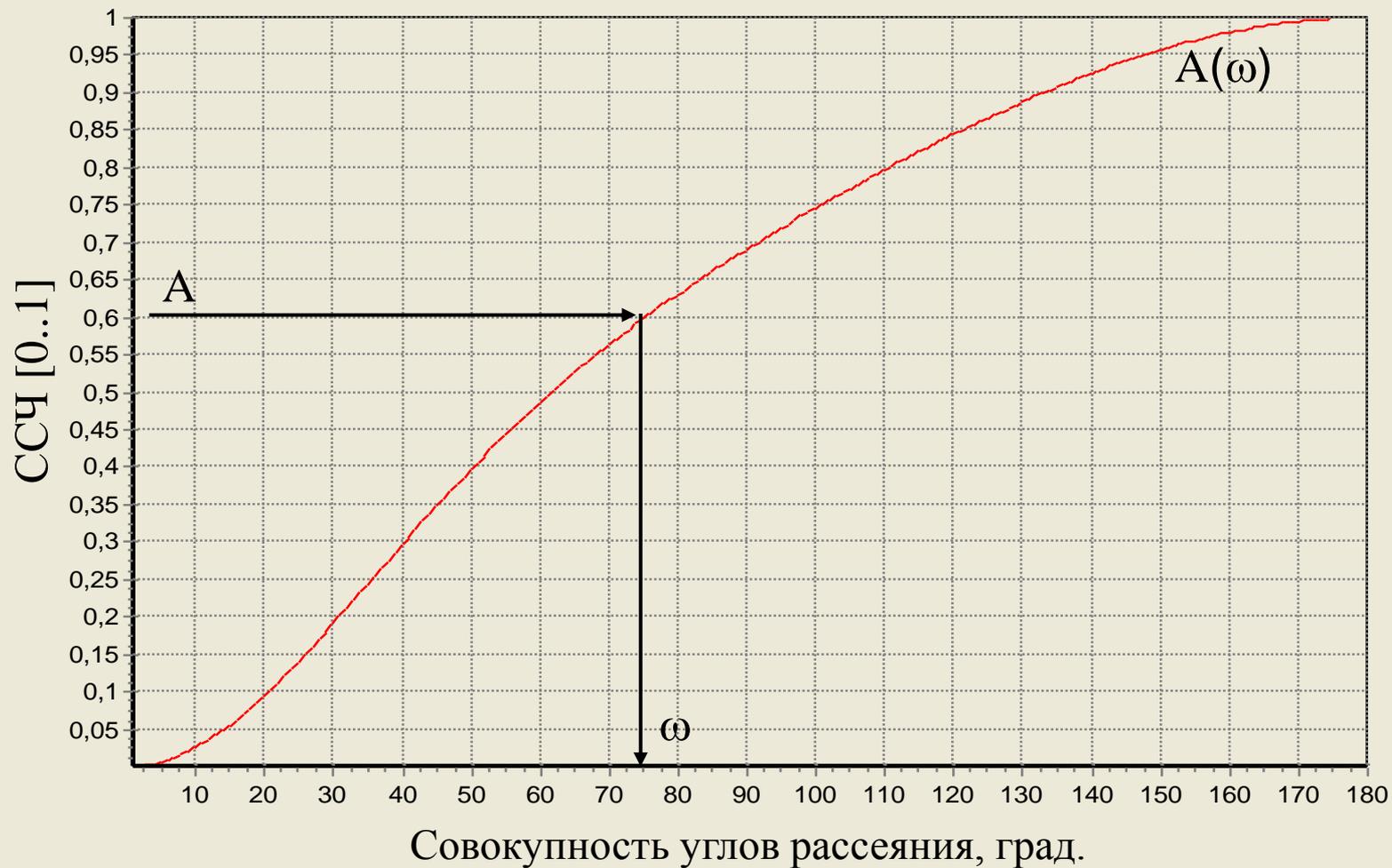
Вероятность $A(\omega)$, что квант отклониться от начальной траектории на угол в интервале от 0 до ω можно записать как:

$$A(\omega) = \frac{2\pi \int_0^\omega \frac{d\sigma}{d\Omega} \sin \omega d\omega}{\int_{4\pi} \frac{d\sigma}{d\Omega} d\Omega}.$$

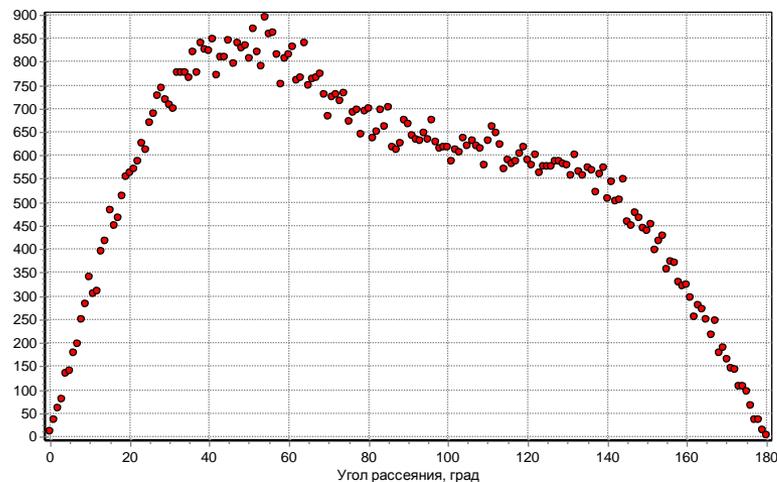
Где числитель получен в результате интегрирования по одному углу, а знаменатель - полная вероятность рассеяния.

Таким образом, можно соотнести конкретное значение угла рассеяния ω со значением A из сгенерированной совокупности случайных чисел ССЧ [0,1].

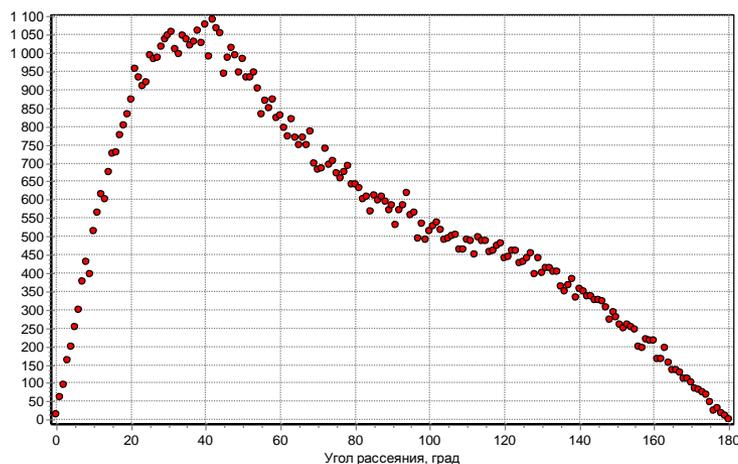
Определение угла рассеяния ω по числу A из ССЧ [0..1]



Зависимость вида распределения от параметра ε



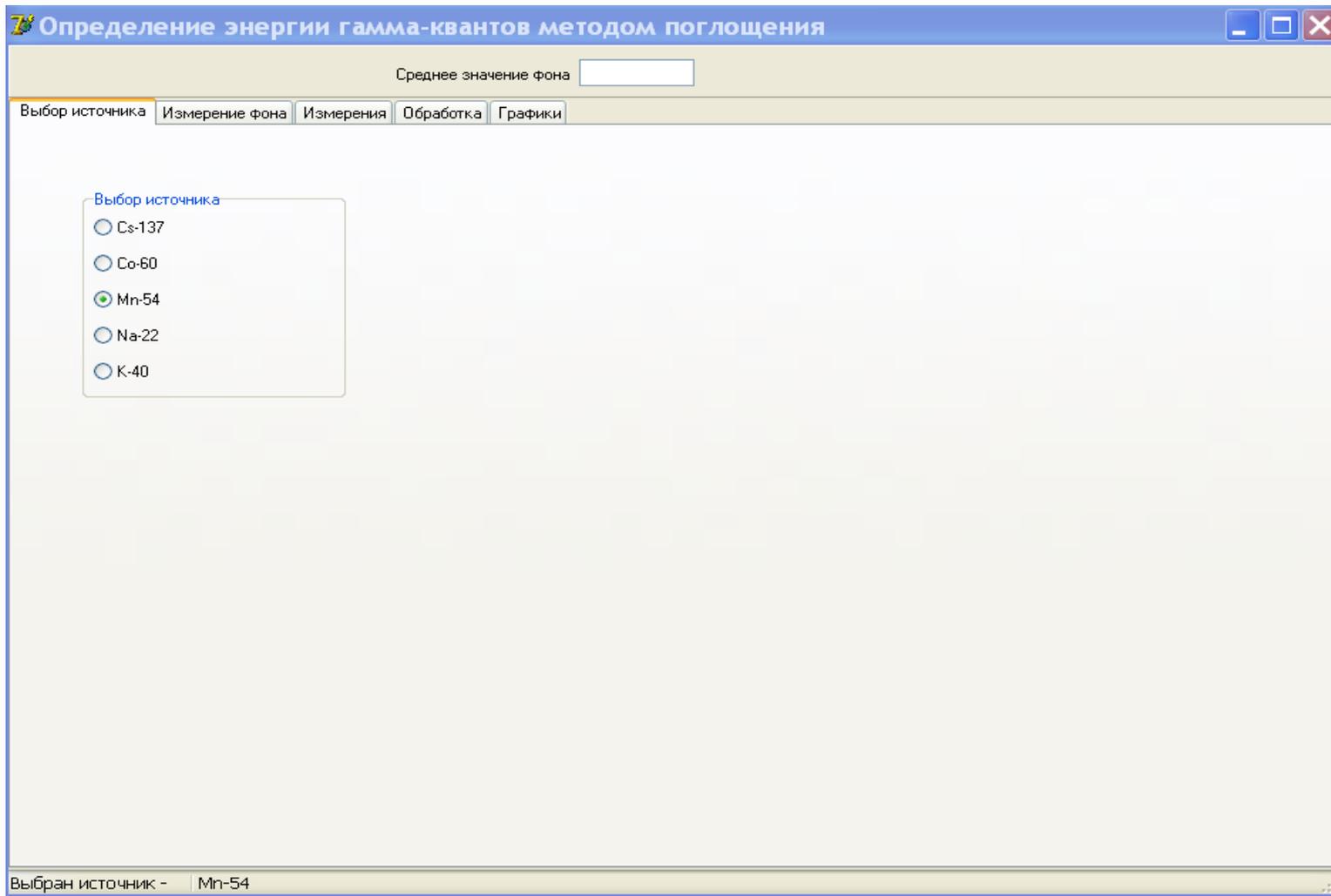
Результат вычислительного
эксперимента с параметром
 $\varepsilon = 100$ кэВ



Результат вычислительного
эксперимента с параметром
 $\varepsilon = 500$ кэВ

СОПУТСТВУЮЩИЙ НАТУРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Этап № 1 «Выбор источника излучения»



Этап № 2 «Измерение фона измерительной установки»

Определение энергии гамма-квантов методом поглощения

Среднее значение фона 61.90

Выбор источника | **Измерение фона** | Измерения | Обработка | Графики

Число измерений в серии 0

Время измерения 5

Пуск

Число квантов - 63

Время - 5

68
64
60
56
49
59
54
80
66
63

Среднее значение серии 61.90

Ошибка среднего 8.582 (13.86%)

Очистить Среднее

Выбран источник - Mn-54

Этап № 3 «Измерение интенсивности прошедшего через поглотитель излучения»

Определение энергии гамма-квантов методом поглощения

Среднее значение фона 144.30

Выбор источника | Измерение фона | **Измерения** | Обработка | Графики

Гамма-источник | Образцы | Сцинтиляционный детектор

Коллиматор и защита из свинца

Б.П. 800В | Б.П. ±12В

Выбор материала

Al

Fe

Pb

Толщина поглотителя, см

6

Среднее значение серии 189.90

Ошибка среднего 16.546 (8.71%)

Число измерений в серии 0

Время измерения 5

Пуск

Число квантов - 204

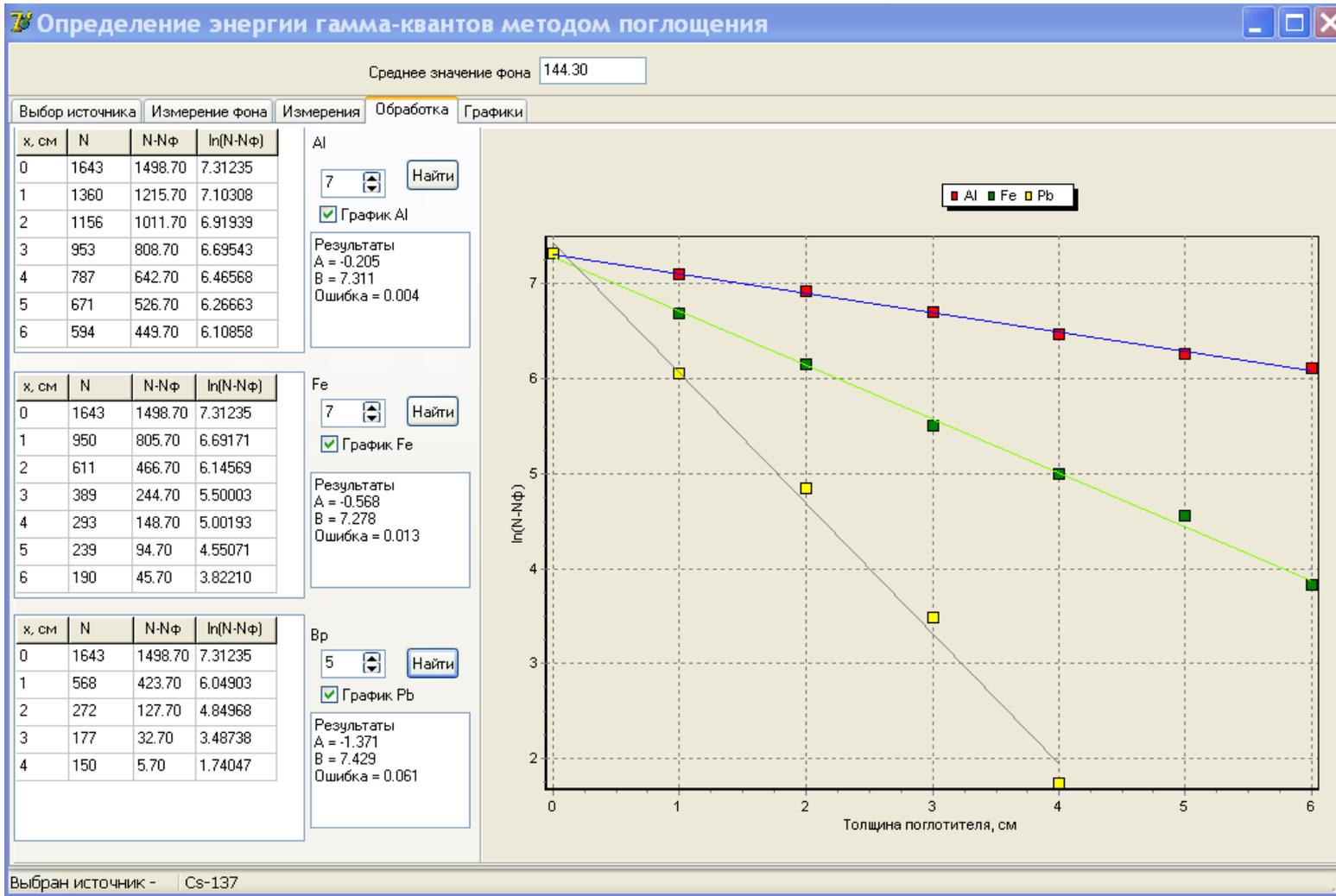
Время - 5

Очистить | Среднее

181
177
170
182
229
172
189
210
202
197
185
179
182
204

Выбран источник - Cs-137

Этап № 4 «Обработка результатов измерений»



Заключение

- Был разработан и реализован алгоритм, моделирующий взаимодействие гамма-излучения с веществом.
- Разработаны и реализованы в виде подпрограмм алгоритмы получения случайных чисел с разными законами распределения – экспоненциальным распределением и распределением Пуассона, угловым распределением рассеянных гамма-квантов.
- Осуществлена проверка программных генераторов случайных чисел. Тестирование показало хорошее согласие между полученными программой распределениями и теоретическими зависимостями. Сделан вывод о возможности их использования при моделировании сложных физических процессов, имеющих статистическую природу.
- Программа прошла тестирование на физическом факультете Воронежского государственного университета при проведении лабораторного практикума по предмету «Ядерная физика» (<https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4427>).

Спасибо за внимание