



Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Техническая физика»

Лаборатория ядерной и радиационной безопасности

Лабораторный практикум по дисциплине
«Защита от ионизирующего излучения»

Лабораторная работа № 1

Статистика ядерных измерений

Минск 2016

Описание статистических характеристик ядерных измерений представлено в Главе 1 (стр. 9) учебного пособия «Практикум по ядерной физике», под ред. В.О. Сергеева. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 2006. (см. в электронном виде в разделе «Вспомогательные материалы»)¹

Цель работы: Изучить методы статистической обработки данных в экспериментальной ядерной физике. Провести измерения интенсивности ядерного излучения с различными интервалами времени, проверить подчинение полученных величин закону Пуассона и (или) Гаусса.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Порядок работы со спектрометром

В данной работе с помощью спектрометра будем регистрировать суммарное число импульсов (детектированных гамма-квантов) за заданный интервал времени (время экспозиции).

- 1.3. Включите спектрометр нажатием сетевой кнопки с тыльной стороны прибора.
- 1.4. Запустите программу «Spectrometer».
- 1.5. Установите питание детектора на 60% от полной мощности.
- 1.6. Установите нижний порог шкалы детектирования 40, отсекая тем самым из диапазона регистрации низкоэнергетические импульсы, связанные, в основном, с шумами самого детектора.
- 1.7. Опции «Усиление» и «Время» позволяют устанавливать коэффициент усиления при обработке сигнала и время экспозиции, соответственно.
- 1.8. После установки всех параметров следует нажать кнопку «Применить». Запуска на регистрацию производится кнопкой «Пуск». После истечения времени экспозиции остановка регистрации происходит автоматически. Принудительная остановка регистрации может быть выполнена с помощью кнопки «Стоп».

¹ На стр. 18. «Практикума» допущена опечатка. Во 2-м абзаце сверху следует читать «...и задавшись доверительной вероятностью p (или уровнем статистической значимости $\alpha=1-p$), ...»

- 1.9. В центральном поле окна программы во время набора будет отображаться спектр регистрируемого излучения как зависимость числа зарегистрированных импульсов от номера канала, в котором произошла регистрация. Суммарное количество зарегистрированных импульсов отображается на панели «Integrate:».
- 1.10. Для повторного запуска с теми же параметрами нажмите кнопки «Сброс» и «Пуск».
- 1.11. По завершению работы со спектрометром **снимите высокое напряжение на электронном блоке**, для чего установите питание детектора на 0% и нажмите кнопку «Применить». После этого закройте программу и выключите спектрометр.

2. Задание А. Выполнение измерений излучения с малым числом отсчетов (излучения с низкой интенсивностью)

- 2.1. Подберите режим работы спектрометра (коэффициент усиления, питание детектора, время) так, чтобы в среднем за время измерения регистрировалось от 2 до 4 импульсов (возможное значение: $t=1$ секунда).
- 2.2. Проведите $n=200$ измерений гамма-фона, результаты измерений записывайте в виде рабочей гистограммы. Гистограмма строится следующим образом: по одной из двух взаимно перпендикулярных осей отложить число частиц, зарегистрированных в одном измерении за время t (ось k). По другой оси отложить число измерений, в которых зарегистрировано k частиц за то же время (ось n_k). Таким образом, после каждого измерения на гистограмму наносится точка, как показано на рисунке 1:

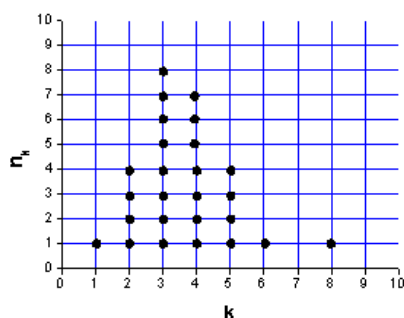


Рисунок 1. Гистограмма экспериментальной частоты выпадения k импульсов

3. Задание Б. Выполнение измерений с большим количеством отсчетов (интенсивного излучения)

- 3.1. Установите такое время экспозиции на спектрометре, чтобы в среднем за время измерения регистрировалось от 15 до 25 импульсов (возможное значение: $t=10$ секунд).
- 3.2. Проведите $n=200$ измерений гамма-фона, результаты измерений записывайте в виде рабочей гистограммы.

4. Задание В. Выполнение однократного измерения

- 4.1. Снимите количество фоновых отсчетов за 10 секунд.

5. Обработка результатов

- 5.1. По результатам измерений Задания А постройте с помощью программы Origin гистограмму экспериментальных частот n_k для всех k .
- 5.2. На отдельном графике постройте гистограмму экспериментального распределения вероятности p_k^{exp} для всех k :

$$p_k^{\text{exp}} = \frac{n_k}{\sum_k n_k}$$

- 5.3. Найдите среднее значение \bar{k} как выборочное среднее:

$$\bar{k} = \sum_k k \cdot p_k^{\text{exp}} = \frac{\sum_k k \cdot n_k}{\sum_k n_k},$$

- 5.4. Добавьте на график с экспериментальным распределением вероятностей p_k^{exp} теоретическое распределение Пуассона p_k , соответствующее полученному значению \bar{k} . Для получения

значения факториала $k!$ используйте гамма-функцию² $\Gamma(x)$, где $x=k+1$.

5.5. Заполните таблицу

Таблица. Статистические характеристики распределения отсчетов фонового гамма-излучения

Число импульсов за t секунд k	Частота наблюдения k импульсов (из эксперимента) n_k	Частота наблюдения k импульсов (теоретическая) $n \cdot p_k$
...

5.6. С помощью критерия χ^2 проверьте предположение о соответствии экспериментального распределения статистике Пуассона. Укажите статистическую значимость полученных оценок.

5.7. Для обработки результатов Задания Б повторите действия пп. 5.1-5.3, используя данные, полученные в Задании Б.

5.8. Добавьте на график с экспериментальным распределением вероятностей $P_{\text{exp}}(k)$ теоретическое распределение Гаусса, соответствующее полученному значению \bar{k} .

5.9. Проверьте распределение измерений с большим количеством отсчетов, полученное в Задании Б на соответствие распределению Гаусса. Для этого убедитесь в выполнении «правила 3 σ », т.е. убедитесь, что ~68% отсчетов не отличаются от среднего значения k больше, чем на \sqrt{k} , ~95% отсчетов не отличаются от среднего значения k больше, чем на $2\sqrt{k}$, ~99% отсчетов не отличаются от среднего значения k больше, чем на $3\sqrt{k}$.

² **Гамма-функция $\Gamma(x)$** — математическая функция, которая расширяет понятие факториала на поле комплексных чисел. Для всех натуральных чисел k $\Gamma(k+1)=k!$

- 5.10. Для обработки результатов Задания В (выполнение однократного измерения) определите интервал возможных значений числа отсчетов с доверительной вероятностью 0.95 при условии, что случайная величина распределена по Пуассону.
- 5.11. В отчете представьте результаты в виде таблиц и графиков (гистограмм), а также выводы.

Контрольные вопросы

1. Определение среднего значения случайной величины. Дисперсия. Абсолютная и относительная флуктуации случайной величины.
2. Распределение Пуассона (формула). Условия применимости. Величина дисперсии для закона Пуассона.
3. Закон Гаусса. Физический смысл параметров.
4. Связь между распределениями Пуассона и Гаусса. При каких условиях распределение Пуассона переходит в закон Гаусса и какими свойствами в таком случае оно обладает?
5. Абсолютная и относительная погрешности измерения случайной величины, распределенной по закону Гаусса.
6. Распределение χ^2 . Проверка гипотез о законе распределения с помощью критерия χ^2 .