МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)
Физтех-школа аэрокосмических технологий

Отчет о выполнении лабораторной работы 1.1.4

Измерение интенсивнности радиационного фона

Ефремова Татьяна, Б03-503

17 сентября 2025 г.

1 Аннотация

Цели работы: применение методов обработки экспериментальных данных для изучения статистических закономерностей при измерении интенсивности радиационного фона

2 Теоретические сведения

2.1 Радиационный фон

Космические лучи – это поток частиц, движущихся с высокими энергиям в космическом пространстве.

Основной величиной, характеризующей количество частиц в космических лучах, является интенсивность I. По определению интенсивность есть число частиц, падающих в единицу времени на единичную площадку, перпендикулярную к направлению наблюдения, отнесенное к единице телесного угла (стерадиану).

Количество падающих частиц в данной работе будет измеряться при помощи счетчика Гейгера-Мюлера (СТС-6). Он представляет собой наполенный газом сосуд с двумя электродами. Частицы космических лучей ионизируют газ, которым наполнен счетчик, а ткже выбивают электроны из его стенок. Образовавшиеся электроны, ускоряясь в сильном электрическом поле между электродами счетчика, соударяются с молекулами газа и выбивают из них новые вторичные электроны. Эти электроны ускоряются электрическим полем и затем ионизицрют молекулы газа. В результате образуется целая лавина электоронов, и через счетчик резко увеличивается ток. Регистрируется частица.

Поток космических частиц, составляющих значительную часть радиационного фона, изменяется со временем случайным образом. В таком случае характеристиками этой величины являются ее среднее значение и среднеквадратическое отклонение от него.

Среднее значения числа частиц, зарегистрированных счетчиком за время τ:

$$\bar{n} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} n_i \tag{1}$$

Среднеквадратическая ошибка отдельного измерения:

$$\sigma_{\text{отд}} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(n_i - \bar{n})^2} \approx \sqrt{\bar{n}}, \tag{2}$$

где N – количество измерений, n_i – число срабатываний счетчика за i-тый отрезок времени τ.

Тогда относительная ошибка отдельного измерения:

$$\mathcal{E}_{\text{отд}} = \frac{\sigma_{\text{отд}}}{n_i} \approx \frac{1}{\sqrt{n_i}}, \tag{3}$$

Относительная ошибка в определении среднего $\bar{n}$:

$$\mathcal{E}_{\bar{n}} = \frac{\sigma_{\bar{n}}}{\bar{n}} = \frac{\sigma_{\text{отд}}}{\bar{n}\sqrt{N}} \approx \frac{1}{\sqrt{\bar{n}N}}. \tag{4}$$

2.2 Распределение Пуассона

Если события происходят с некоторой фиксированной средней интенсивностью, и каждое следующее событие не зависит от предыдущего, то последовательность таких событий называют пуассоновским процессом. Распределение Пуассона описывает вероятность того, что в фиксированном интервале паусcоновского процесса произойдет определенное количество событий.

Так, вероятность того, что за отрезок времени τ будет зарегистрировано n частиц:

$$P_n = \frac{n_0^n}{n!}e^{-n_0} \tag{5}$$

3 Используемое оборудование

Счетчик Гейгера-Мюллера (СТС-6), блок питания, компьютер с интерфейсом связи со счетчиком.

4 Результаты измерений и обработка данных

В данном эксперименте будут обработаны данные для 4х времен: $\tau = 10$ с, $\tau = 20$ с, $\tau = 40$ с, $\tau = 80$ с. Сперва проведем наглядно обработку данных для $\tau = 10$ с.

Таблица 1: Число срабатываний счетчика за $\tau = 20$ с

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	13	24	15	14	27	20	21	15	20	18
10	24	18	17	15	14	20	20	23	24	40
20	14	25	19	21	16	26	16	22	24	21
30	19	15	19	24	26	19	17	21	15	17
40	22	27	15	22	20	19	24	19	20	24
50	18	17	10	18	29	29	26	32	28	16
60	20	27	26	19	13	15	15	24	17	18
70	20	27	19	30	20	23	20	26	15	14
80	19	25	27	19	15	21	36	26	14	18
90	15	21	19	15	20	19	13	23	18	20
100	23	27	18	16	18	18	17	16	24	17
110	18	16	25	18	15	17	25	21	13	21
120	13	23	24	22	9	20	17	27	21	18
130	20	15	16	23	20	19	19	16	12	17
140	16	18	21	16	15	30	22	21	29	17
150	20	15	14	13	22	15	12	18	27	20
160	15	14	19	10	18	21	22	18	27	16
170	10	15	19	22	21	19	22	15	21	17
180	19	14	23	16	15	26	16	16	24	15
190	19	16	18	19	24	17	21	24	16	33

Таблица 2: Данные для построения гистограммы при $\tau = 20$ с

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Число случаев	3	1	5	12	11	21	31	33	43	39	43
Доля случаев w_n	0.007	0.003	0.013	0.030	0.028	0.052	0.077	0.083	0.107	0.098	0.107
P_n	0.001	0.004	0.009	0.019	0.034	0.053	0.074	0.094	0.107	0.113	0.109
n	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Число случаев	42	33	20	24	13	9	7	6	1	1	1
Доля случаев w_n	0.105	0.083	0.050	0.060	0.033	0.022	0.018	0.015	0.003	0.003	0.003
P_n	0.098	0.083	0.065	0.048	0.034	0.022	0.014	0.008	0.005	0.003	0.001

Используя полученные данные, можно построить гистограмму вероятностей регистрирования n частиц и сравнить ее с распределением Пуассона для данного отрезка времени.

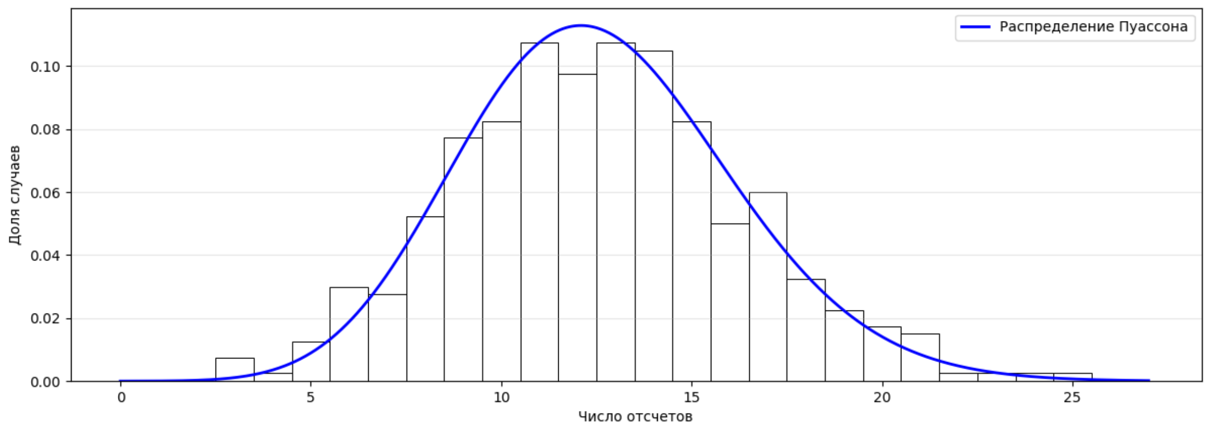

Рис. 1: Гистограмма для $\tau = 10$ с

Аналогично проводится обработка полученных данных для $\tau = 20$ с, $\tau = 40$ с и $\tau = 80$ с.

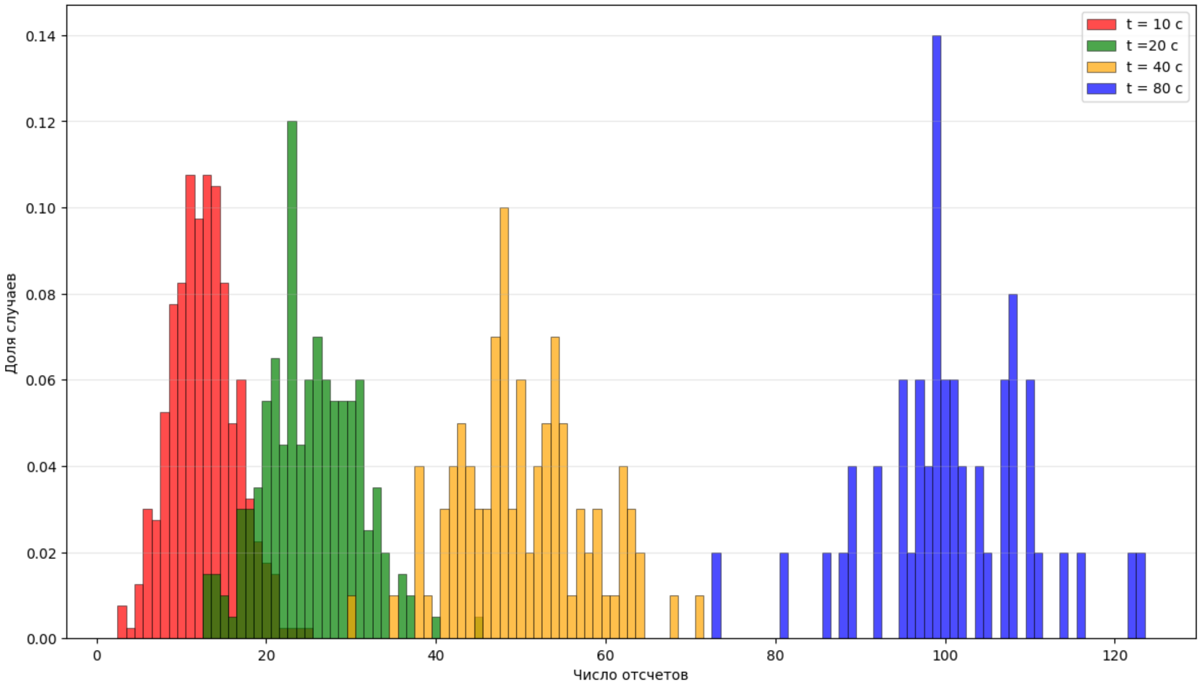

Рис. 2: Сравнение гистограмм для $\tau = 10$ с, $\tau = 20$ с, $\tau = 40$ с и $\tau = 80$ с

Вычислим среднее число срабатываний счетчика за 10, 20, 40 и 80 секунд.

$$\bar{n_{10}} = \frac{1}{400}\sum_{i=1}^{400} n_i \approx 12.6$$
$$\bar{n_{20}} = \frac{1}{200}\sum_{i=1}^{200} n_i \approx 25.2$$
$$\bar{n_{40}} = \frac{1}{100}\sum_{i=1}^{100} n_i \approx 50.4$$
$$\bar{n_{80}} = \frac{1}{50}\sum_{i=1}^{50} n_i \approx 100.8$$

Вычислим среднеквадратическую погрешность измерений для каждого отрезка времени:

$$\sigma_{n_{10}} = \sqrt{\frac{1}{400}\sum_{i=1}^{400}(n_i - \bar{n})^2} \approx 3.5$$

$$\sigma_{n_{20}} = \sqrt{\frac{1}{200}\sum_{i=1}^{200}(n_i - \bar{n})^2} \approx 5.0$$

$$\sigma_{n_{40}} = \sqrt{\frac{1}{100}\sum_{i=1}^{100}(n_i - \bar{n})^2} \approx 7.1$$

$$\sigma_{n_{80}} = \sqrt{\frac{1}{50}\sum_{i=1}^{50}(n_i - \bar{n})^2} \approx 10.0$$

Вычислим среднеквадратическое отклонение по свойству процесса Пуассона и сравним со стандартной:

$$\sigma_{n_{10}} = \sqrt{\bar{n_{10}}} \approx 3.5$$
$$\sigma_{n_{20}} = \sqrt{\bar{n_{20}}} \approx 5.0$$
$$\sigma_{n_{40}} = \sqrt{\bar{n_{40}}} \approx 7.1$$
$$\sigma_{n_{80}} = \sqrt{\bar{n_{80}}} \approx 10.0$$

Рассчитаем относительные погрешности:

$$\mathcal{E}_{\bar{n_{10}}} = \frac{100\%}{\sqrt{\bar{n_{10}} \cdot 400}} \approx 1,4\%$$

$$\mathcal{E}_{\bar{n_{20}}} = \frac{100\%}{\sqrt{\bar{n_{20}} \cdot 200}} \approx 1,4\%$$

$$\mathcal{E}_{\bar{n_{40}}} = \frac{100\%}{\sqrt{\bar{n_{40}} \cdot 100}} \approx 1,4\%$$

$$\mathcal{E}_{\bar{n_{80}}} = \frac{100\%}{\sqrt{\bar{n_{80}} \cdot 50}} \approx 1,4\%$$

Окончательный результат:

$$n_{\tau=10} = 12,6 \pm 3.5$$
$$n_{\tau=20} = 25.2 \pm 5.0$$
$$n_{\tau=40} = 50.4 \pm 7.1$$
$$n_{\tau=80} = 100.8 \pm 10.0$$

Для каждого τ вычислим среднюю интенсивность регистрируемых частиц $\bar{j} = \frac{\bar{n}}{\tau}$ в секунду:

$$i_{\tau=10} = 1.26 \pm 0.35$$
$$i_{\tau=20} = 1.26 \pm 0,35$$
$$i_{\tau=40} = 1.26 \pm 0,35$$
$$i_{\tau=80} = 1.26 \pm 0,35$$

5 Выводы

В ходе работы познакомилась с основными понятиями статистики. Определила среднее чмсло регистрируемых космических лучей в секунду и погрешность полученного результата. Выяснила, что средняя интенсивность регистрируемых частиц не завсит от величины интервала τ и числа точек N.