

МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)
Факультет аэрофизики и космических исследований

Отчет о выполнении лабораторной работы 1.1.4
Измерение интенсивности радиационного фона

Коломоец А.А.
Группа Б03-504

Сентябрь 2025

Содержание

Аннотация.....	2
Теоретические сведения.....	2
Оборудование.....	3
Ход работы.....	4
Вывод.....	7

Аннотация

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

2. Оборудование: счетчик Гейгера-Мюллера (СТС-6), блок питания, компьютер с интерфейсом связи со счетчиком.

Теоретические сведения

В ходе лабораторной работы измеряется число частиц, проходящих через счетчик за 10 и 40 секунд. Выбор времени обоснован желанием продемонстрировать, что при большем времени лучше выполняется нормальное распределение измеряемых величин и гистограмма более симметрична, чем при малых временах, когда при обработке следует использовать методы, основанные на законе Пуассона.

Среднеквадратичная ошибка числа отсчетов, измеренного за некоторый интервал времени, равна корню квадратному из среднего числа отсчетов за тот же интервал $\sigma = \sqrt{n_0}$, но истинное значение измеряемой величины нам неизвестно. Поэтому в формулу подставляем не истинное среднее значение n_0 , а измеренное значение n .

$$\sigma = \sqrt{n} \quad (1)$$

Тогда результат измерения можно записать следующим образом:

$$n_0 = n \pm \sqrt{n} \quad (2)$$

При N измерениях среднее значение числа сосчитанных за одно измерение частиц равно

$$\bar{n} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N n_i, \quad (3)$$

а стандартную ошибку отдельного измерения можно оценить по формуле:

$$\sigma_{om\partial} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (n_i - \bar{n})^2} \quad (4)$$

Ближе всего к значению $\sigma_{om\partial}$ лежит величина $\sqrt{\bar{n}}$ т.е.

$$\sigma_{om\partial} \approx \sqrt{\bar{n}} \quad (5)$$

Величина \bar{n} из формулы (3), полученная путем усреднения результатов серии из N опытов, не вполне точно совпадает с истинным средним значением n_0 и сама является случайной величиной.

Тогда стандартная ошибка отклонения \bar{n} от n_0 может быть определена следующим образом:

$$\sigma_{\bar{n}} = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^N (n_i - \bar{n})^2} = \frac{\sigma_{om\partial}}{\sqrt{N}} \quad (6)$$

Ожидаемое отличие любого n_i от n_0 (относительная ошибка отдельного измерения):

$$\varepsilon_{om\partial} = \frac{\sigma_{om\partial}}{n_i} \approx \frac{1}{\sqrt{(\bar{n} N)}} \quad (7)$$

Оборудование

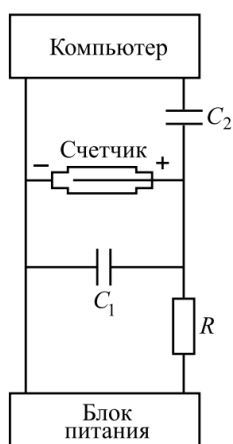


Рисунок 1.
Схема включения
счетчика

Космические лучи обнаруживают с помощью ионизации, которую они производят, используя счетчик Гейгера-Мюллера. Схема его подключения приведена на рисунке 1. Счетчик представляет собой наполненный газом сосуд с двумя электродами. Частицы космических лучей ионизируют газ, выбивают электроны из стенок сосуда. Те, сталкиваясь с молекулами газа, выбивают из них электроны. Таким образом, получается лавина электронов, следовательно, через счетчик резко увеличивается ток.

Погрешность измерения потока частиц с помощью счетчика Гейгера-Мюллера мала по сравнению с изменениями самого потока, то есть его флуктуациями.

Ход работы

Число срабатываний счетчика за 20 с

(Таблица 1)

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	25	18	12	23	24	23	16	21	13	19
10	26	26	19	25	22	26	24	18	17	19
20	24	12	20	17	24	14	17	17	12	25
30	13	23	19	16	29	28	15	21	26	36
40	31	19	23	22	19	13	24	15	15	25
50	24	16	21	16	23	13	20	23	18	20
60	24	19	21	24	13	17	26	19	23	17
70	15	10	22	19	12	10	26	17	16	21
80	15	24	26	16	17	16	23	20	23	24
90	20	22	22	23	22	17	17	21	19	25
100	19	13	20	17	17	15	23	20	17	19
110	22	19	21	17	20	21	28	20	17	18
120	21	18	21	21	20	13	18	15	22	20
130	25	22	22	21	21	20	19	11	13	21
140	23	28	21	18	15	21	24	15	31	23
150	23	19	19	22	15	20	28	13	24	19
160	15	20	21	19	23	17	20	20	22	23
170	28	17	21	26	18	19	15	12	21	19
180	15	24	27	12	11	23	24	18	10	19
190	22	27	16	20	18	13	19	18	18	17

Данные для построения гистограммы распределения числа срабатываний счетчика за 10 с

(Таблица 2)

Число импульсов n_i	0	1	2	3	4	5
Число случаев	0	1	0	3	12	17
Доля случаев ω	0	0.003	0	0.008	0.030	0.043
Число импульсов n_i	6	7	8	9	10	11
Число случаев	28	32	26	60	57	46
Доля случаев ω	0.070	0.080	0.066	0.151	0.143	0.116
Число импульсов n_i	12	13	14	15	16	17
Число случаев	36	33	25	10	7	5
Доля случаев ω	0.090	0.083	0.063	0.025	0.018	0.013

Число срабатываний счетчика за 40 с

(Таблица 3)

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	43	35	47	37	32	52	44	48	42	36
10	36	37	38	34	37	36	35	57	36	62
20	50	45	32	39	40	40	37	36	43	38
30	43	45	30	45	40	25	41	22	43	37
40	39	42	33	47	43	42	45	39	38	44
50	32	43	36	41	38	41	48	35	39	42
60	33	33	42	47	43	41	30	34	51	39
70	54	42	41	35	41	43	35	40	40	40
80	45	45	47	37	27	40	39	39	34	42
90	29	49	36	31	37	35	27	25	35	27

Данные для построения гистограммы распределения числа срабатываний счетчика за 40 с

(Таблица 4)

Число импульсов n_i	22	25	27	29	30	31
Число случаев	1	1	1	1	2	1
Доля случаев ω	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03
Число импульсов n_i	32	33	34	35	36	37
Число случаев	4	3	2	6	8	8
Доля случаев ω	0.04	0.03	0.02	0.06	0.08	0.08
Число импульсов n_i	38	39	40	41	42	43
Число случаев	4	8	7	6	7	8
Доля случаев ω	0.04	0.08	0.07	0.06	0.07	0.08
Число импульсов n_i	44	45	47	48	49	50
Число случаев	2	6	4	2	1	1
Доля случаев ω	0.02	0.06	0.04	0.02	0.01	0.01
Число импульсов n_i	51	52	54	57	62	63
Число случаев	1	1	1	1	1	0
Доля случаев ω	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0

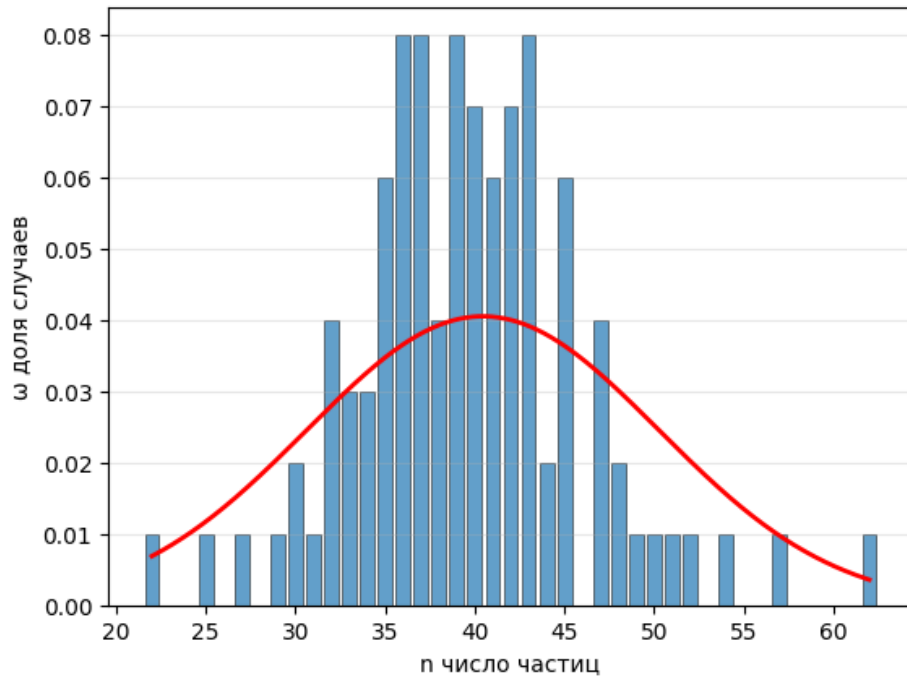
В таблицах 1 и 3 представлены результаты измерения числа частиц.

Распределения числа срабатываний счетчика для $\tau=10$ и для $\tau=40$ представлены в таблицах 2 и 4 соответственно.

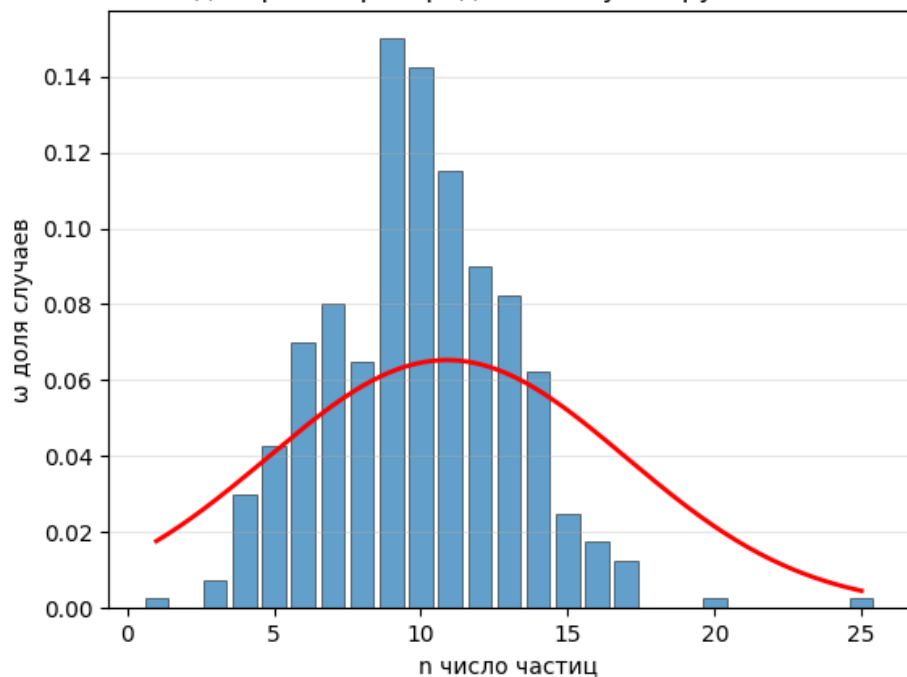
$$\overline{n}_{10} = \frac{1}{N_{10}} \sum_{i=1}^{N_{10}} n_i = \frac{3962}{400} \approx 9,91$$

$$\overline{n}_{40} = \frac{1}{N_{40}} \sum_{i=1}^{N_{40}} n_i = \frac{3962}{100} \approx 39,6$$

Столбчатая диаграмма распределения сумм групп по $\tau = 40$ секунд



Столбчатая диаграмма распределения сумм групп по $\tau = 10$ секунд



Найдем среднеквадратичную ошибку измерения за $\tau=10$ с и за $\tau=40$ с по формуле (4)

$$\sigma_{om\partial 10} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (n_i - \bar{n}_{10})^2} = \sqrt{\frac{3640}{400}} = 3,02$$

$$\sigma_{om\partial 40} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (n_i - \bar{n}_{40})^2} = \sqrt{\frac{4017,6}{100}} = 6,34$$

Сравним со значениями, получаемыми по формуле (5)

$$3,02 \approx \sqrt{9,91} = 3,14$$

$$6,34 \approx \sqrt{39,6} = 6,29$$

Определим долю случаев, когда отклонения от среднего значения не превышают $\sigma_{om\partial 10}$, $2\sigma_{om\partial 10}$ и сравним с теоретическими значениями, аналогичные сделаем и для случаев $\tau=40$

Ошибка	Число случаев	Доля случаев %	Теоретическая оценка
$\pm \sigma_{om\partial 10} = \pm 3,02$	257	64	68
$\pm 2 \sigma_{om\partial 10} = \pm 6,04$	382	96	95

Ошибка	Число случаев	Доля случаев %	Теоретическая оценка
$\pm \sigma_{om\partial 40} = \pm 6,34$	73	73	68
$\pm 2 \sigma_{om\partial 40} = \pm 12,68$	95	95	95

Найдем среднеквадратичное отклонение для средних значений по формуле (6)

$$\sigma_{\bar{n}_{10}} = \frac{1}{N_{10}} \sqrt{\sum_{i=1}^{N_{10}} (n_i - \bar{n}_{10})^2} = \frac{\sigma_{om\partial 10}}{\sqrt{N_{10}}} = \frac{3,02}{\sqrt{400}} = 0,15$$

$$\sigma_{\bar{n}_{40}} = \frac{1}{N_{40}} \sqrt{\sum_{i=1}^{N_{40}} (n_i - \bar{n}_{40})^2} = \frac{\sigma_{om\partial 40}}{\sqrt{N_{40}}} = \frac{6,34}{\sqrt{100}} = 0,63$$

И получим окончательный результат для n_{10} и n_{40} :

$$n_{10} = \bar{n}_{10} \pm \sigma_{\bar{n}_{10}} = 9,91 \pm 0,15$$

$$n_{40} = \bar{n}_{40} \pm \sigma_{\bar{n}_{40}} = 39,6 \pm 0,63$$

Вывод

В ходе выполнения лабораторной работы было проведено измерение интенсивности радиационного фона с помощью счетчика Гейгера-Мюллера. Полученные данные для интервалов времени 10 с и 40 с обработаны с использованием методов статистического анализа, основанных на распределении Пуассона и приближении к нормальному распределению.

Анализ гистограмм распределений показал, что при большем интервале времени (40 с) распределение становится более симметричным и ближе к нормальному, в то время как для 10 с оно асимметрично, с преобладанием меньших значений.

