

1.1.4 Измерение интенсивности радиационного фона

Анна Назарчук Б02-109

1 Аннотация

В работе измеряется интенсивность радиационного фона, большую часть которого составляет поток космических частиц. Он изменяется со временем случайным образом и фиксируется при помощи счетчика Гейгера-Мюллера (СТС-6). Применяются методы обработки экспериментальных данных для изучения статистических закономерностей при измерении интенсивности радиационного фона.

2 Теоретические сведения

Регистрация частиц однородна по времени и каждое последующее событие не зависит от предыдущего, поэтому количество отсчетов в одном опыте подчиняются распределению Пуассона, которое при больших ислах стремится к нормальному. Стандартная ошибка отдельного измерения через измеренное значение n :

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

Отсюда следует, что результат измерений с высокой точностью записывается так:

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

При N измерениях среднее значение числа частиц за одно измерений равно:

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

Стандартную ошибку измерения можно оценить по формуле:

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

Ближе всего к значению $\sigma_{\text{отд}}$ лежит величина $\sqrt{\bar{n}}$, то есть:

$$\sigma_{\text{отд}} \approx \sqrt{\bar{n}} \quad (5)$$

Величина \bar{n} не вполне точно совпадает с истинным значением n_0 и является случайной величиной. Стандартная ошибка отклонения \bar{n} от n_0 может быть определена так:

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

Относительная ошибка отдельного измерения (ожидаемое отличие любого из n_i от n_0):

$$\varepsilon_{\text{отд}} = \frac{\sigma_{\text{отд}}}{n_i} \approx \frac{1}{\sqrt{n_i}} \quad (7)$$

Аналогично определяется относительная ошибка в определении среднего по всем измерениям значения \bar{n} :

$$\varepsilon_{\bar{n}} = \frac{\sigma_{\bar{n}}}{\bar{n}} = \frac{\sigma_{\text{отд}}}{\bar{n}\sqrt{N}} \approx \frac{1}{\sqrt{\bar{n}N}} \quad (8)$$

3 Оборудование

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.

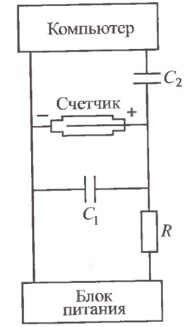


Рис. 1: Схема включения счетчика

Таблица 1: Число срабатываний счетчика за 20 с

№ опыта :	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0 :	27	29	24	32	30	35	20	24	27	22
10 :	30	29	31	19	25	26	31	20	28	33
20 :	18	35	22	30	32	35	27	25	25	18
30 :	39	26	30	42	24	37	31	27	32	25
40 :	26	25	22	34	29	24	24	31	28	29
50 :	31	31	27	28	18	33	21	28	27	21
60 :	32	21	42	19	33	27	31	27	23	26
70 :	28	26	29	25	39	33	36	26	18	29
80 :	25	27	34	27	25	26	36	21	34	29
90 :	20	32	31	27	17	30	24	25	22	28
100 :	25	33	40	31	28	30	27	33	26	27
110 :	26	23	25	31	30	37	28	29	28	21
120 :	23	33	29	31	23	29	30	27	17	31
130 :	24	29	20	28	40	20	25	29	31	32
140 :	30	15	24	29	28	26	36	24	20	31
150 :	27	20	27	32	25	34	34	32	28	34
160 :	31	24	20	25	17	31	33	21	33	26
170 :	28	24	34	34	26	25	27	16	20	27
180 :	34	27	22	23	32	26	25	25	30	18
190 :	35	27	31	38	31	27	25	25	42	38

4 Результаты измерений и обработка данных

Результаты измерения числа частиц представлены в таблице 1. Распределение числа срабатываний счетчика для 10 с и 40 с представлено в таблицах 2 и 3 соответственно.

Представим результаты распределений в виде гистограммы, гистограмма распределения для $\tau = 40$ с обозначена синим цветом (рис. 2)

Определим среднее число частиц за 10 и 40 с, $N_{10} = 400$, $N_{40} = 100$:

$$\overline{n_{10}} = \frac{1}{N_{10}} \sum_{i=1}^{N_{10}} n_i = \frac{5557}{400} = 13.893$$

$$\overline{n_{40}} = \frac{1}{N_{40}} \sum_{i=1}^{N_{40}} n_i = \frac{5557}{100} = 55.57$$

Таблица 2: Данные для построения гистограммы распределения числа срабатываний счетчика за 10 с

Число импульсов n_i	4	5	6	7	8
Число случаев	1	1	1	8	14
Доля случаев w_n	0.0025	0.0025	0.0025	0.002	0.035
Число импульсов n_i	9	10	11	12	13
Число случаев	23	28	43	30	35
Доля случаев w_n	0.0575	0.07	0.1075	0.075	0.0875
Число импульсов n_i	14	15	16	17	18
Число случаев	48	42	32	31	20
Доля случаев w_n	0.12	0.105	0.08	0.0775	0.05
Число импульсов n_i	19	20	21	22	23
Число случаев	11	13	7	7	1
Доля случаев w_n	0.0275	0.0325	0.0175	0.0175	0.0025
Число импульсов n_i	24	25	26	27	28
Число случаев	0	1	2	0	1
Доля случаев w_n	0	0.0025	0.005	0	0.0025

Таблица 3: Данные для построения гистограммы распределения числа срабатываний счетчика за 40 с

Число импульсов n_i	43	44	45	47	48	49	50
Число случаев	2	1	3	4	5	6	4
Доля случаев w_n	0.02	0.01	0.03	0.04	0.05	0.06	0.04
Число импульсов n_i	51	52	53	54	55	56	57
Число случаев	7	6	6	5	3	5	5
Доля случаев w_n	0.07	0.06	0.06	0.05	0.03	0.05	0.05
Число импульсов n_i	58	59	60	61	62	63	65
Число случаев	7	4	5	5	4	2	2
Доля случаев w_n	0.07	0.04	0.05	0.05	0.04	0.02	0.02
Число импульсов n_i	66	67	68	69	71	72	80
Число случаев	1	2	1	1	1	2	1
Доля случаев w_n	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01

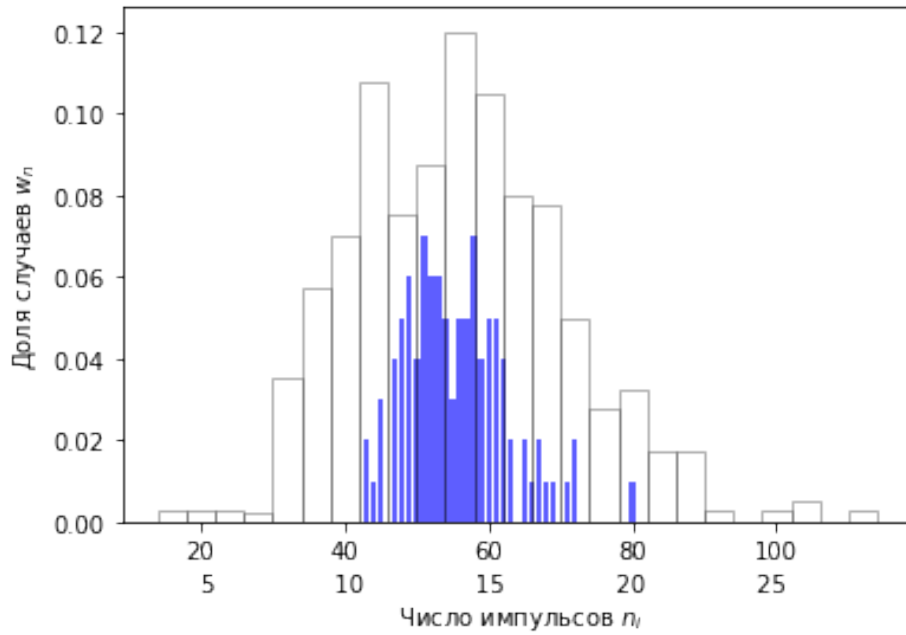


Рис. 2: Гистограммы для $\tau = 10$ с и $\tau = 40$ с

Найдем среднеквадратичную ошибку отдельного измерения за 10 и 40 с по формуле 4:

$$\sigma_{\text{отд}10} = \sqrt{\frac{1}{N_{10}} \sum_{i=1}^{N_{10}} (n_i - \bar{n}_{10})^2} = 3.78$$

$$\sigma_{\text{отд}40} = \sqrt{\frac{1}{N_{40}} \sum_{i=1}^{N_{40}} (n_i - \bar{n}_{40})^2} = 7.001$$

Убедимся в справедливости формулы 5:

$$3.78 \approx \sqrt{13.893} = 3.73$$

$$7.001 \approx \sqrt{55.57} = 7.45$$

Определим долю случаев, когда отклонения от среднего значения не превышают $\sigma_{\text{отд}10}$, $2\sigma_{\text{отд}10}$ и сравним с теоритическими значениями:

Определим аналогичную долю случаев для $t = 40$ с и сравним с теоритическими значениями:

Найдем среднеквадратичное отклонение для средних значений по формуле 6:

Ошибка	Число случаев	Доля случаев, %	Теоретическая оценка
$\pm\sigma_{\text{отд}10} = \pm 3.78$	261	65	68
$\pm 2\sigma_{\text{отд}10} = \pm 7.56$	385	96	95

Ошибка	Число случаев	Доля случаев, %	Теоретическая оценка
$\pm\sigma_{\text{отд}10} = \pm 7.001$	72	72	68
$\pm 2\sigma_{\text{отд}10} = \pm 14.002$	96	96	95

$$\sigma_{\overline{n}_{10}} = \frac{1}{N_{10}} \sqrt{\sum_{i=1}^{N_{10}} (n_i - \overline{n}_{10})^2} = \frac{\sigma_{\text{отд}10}}{\sqrt{N_{10}}} = 0.19$$

$$\sigma_{\overline{n}_{40}} = \frac{1}{N_{40}} \sqrt{\sum_{i=1}^{N_{40}} (n_i - \overline{n}_{40})^2} = \frac{\sigma_{\text{отд}40}}{\sqrt{N_{40}}} = 0.7$$

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

$$n_{10} = \overline{n}_{10} \pm \sigma_{\overline{n}_{10}} = 13.893 \pm 0.19$$

$$n_{40} = \overline{n}_{40} \pm \sigma_{\overline{n}_{40}} = 55.57 \pm 0.7$$

5 Вывод

Получены случайно изменяющиеся со временем данные об интенсивности потока космических частиц. Применены методы обработки данных для изучения статистических закономерностей при измерении интенсивности радиационного фона.