

1.1.4 Измерение интенсивности радиационного фона

Тимур Байдюсенов Б01-302

15.09.2023

1 Аннотация

В работе измеряется интенсивность радиационного фона. Данные фиксируются с помощью счётчика Гейгера-Мюллера(СТС-6). Исследуются ошибки результатов.

2 Теоретические сведения

Количество отсчётов в одном опыте подчиняется распределению Пуассона, т.к. регистрация частиц однородна по времени и каждая следующая не зависит от предыдущего. Стандартная ошибка отдельного измерения находится по формуле:

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

Значит результат измерений записывается так:

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

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

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

Стандартную ошибку отдельного 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 $\sqrt{\bar{n}}$, тогда:

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

Как показывает теория вероятностей 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:

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

Аналогичным образом 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

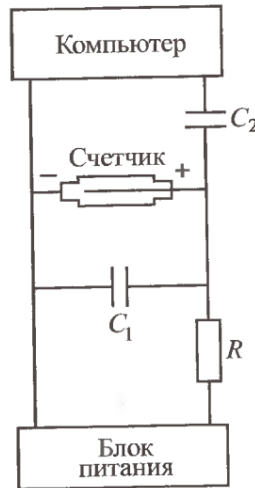


Рис. 1: Схема включения счетчика

Обнаружить космические лучи можно с помощью ионизации, которую они производят, используя счетчик Гейгера-Мюллера. Счетчик представляет собой наполненный газом сосуд с двумя электродами: металлическим цилиндром и нитью. Частицы космических лучей ионизируют газ,

выбивая электроны из стенок сосуда и создавая лавину электронов: сталкиваясь с молекулами газа, выбивают из них электроны. Так, получается лавина электронов, в следствии чего, через счетчик увеличивается ток и регистрируется частица.

4 Результаты измерений и обработка данных

Таблица 1: Число срабатываний счетчика за 20 с

| № опыта : | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 0 : | 0 | 8 | 24 | 30 | 33 | 25 | 36 | 26 | 33 | 30 |
| 10 : | 27 | 24 | 23 | 31 | 24 | 23 | 31 | 24 | 30 | 35 |
| 20 : | 25 | 29 | 28 | 25 | 19 | 36 | 16 | 23 | 21 | 23 |
| 30 : | 30 | 14 | 31 | 25 | 25 | 33 | 36 | 32 | 23 | 27 |
| 40 : | 23 | 21 | 19 | 16 | 21 | 22 | 27 | 23 | 20 | 34 |
| 50 : | 35 | 21 | 16 | 26 | 28 | 29 | 32 | 28 | 30 | 27 |
| 60 : | 31 | 25 | 21 | 31 | 19 | 26 | 25 | 27 | 17 | 31 |
| 70 : | 27 | 25 | 22 | 24 | 23 | 16 | 25 | 29 | 27 | 32 |
| 80 : | 23 | 23 | 22 | 28 | 29 | 28 | 26 | 29 | 35 | 20 |
| 90 : | 25 | 29 | 19 | 23 | 21 | 26 | 19 | 24 | 22 | 32 |
| 100 : | 25 | 33 | 40 | 31 | 28 | 30 | 27 | 33 | 32 | 27 |
| 110 : | 31 | 23 | 25 | 31 | 30 | 37 | 33 | 32 | 33 | 21 |
| 120 : | 21 | 33 | 29 | 31 | 23 | 29 | 30 | 27 | 31 | 21 |
| 130 : | 19 | 29 | 20 | 28 | 40 | 20 | 25 | 29 | 31 | 32 |
| 140 : | 29 | 15 | 24 | 31 | 28 | 26 | 36 | 24 | 20 | 31 |
| 150 : | 25 | 20 | 22 | 32 | 25 | 34 | 32 | 33 | 28 | 33 |
| 160 : | 29 | 25 | 20 | 25 | 17 | 31 | 33 | 21 | 33 | 27 |
| 170 : | 26 | 25 | 31 | 34 | 26 | 25 | 31 | 16 | 21 | 26 |
| 180 : | 32 | 26 | 27 | 33 | 32 | 26 | 22 | 25 | 34 | 19 |
| 190 : | 33 | 27 | 31 | 27 | 31 | 27 | 25 | 25 | 22 | 35 |

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

| | | | | | |
|-----------------------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Число импульсов n_i | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Число случаев | 2 | 6 | 6 | 6 | 22 |
| Доля случаев w_n | 0.005 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.055 |
| Число импульсов n_i | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| Число случаев | 22 | 30 | 44 | 37 | 47 |
| Доля случаев w_n | 0.055 | 0.075 | 0.11 | 0.0925 | 0.1175 |
| Число импульсов n_i | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| Число случаев | 54 | 30 | 22 | 25 | 19 |
| Доля случаев w_n | 0.135 | 0.075 | 0.055 | 0.0625 | 0.0475 |
| Число импульсов n_i | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
| Число случаев | 8 | 7 | 5 | 2 | 1 |
| Доля случаев w_n | 0.02 | 0.0175 | 0.0125 | 0.005 | 0.0025 |
| Число импульсов n_i | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 |
| Число случаев | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| Доля случаев w_n | 0 | 0.0025 | 0 | 0 | 0.0025 |

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

| | | | | | |
|-----------------------|------|------|------|------|------|
| Число импульсов n_i | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 |
| Число случаев | 2 | 1 | 6 | 2 | 4 |
| Доля случаев w_n | 0.02 | 0.01 | 0.06 | 0.02 | 0.04 |
| Число импульсов n_i | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 |
| Число случаев | 4 | 4 | 5 | 7 | 6 |
| Доля случаев w_n | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.06 |
| Число импульсов n_i | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 |
| Число случаев | 4 | 6 | 10 | 6 | 2 |
| Доля случаев w_n | 0.04 | 0.06 | 0.1 | 0.06 | 0.02 |
| Число импульсов n_i | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 |
| Число случаев | 4 | 7 | 2 | 1 | 3 |
| Доля случаев w_n | 0.04 | 0.07 | 0.02 | 0.01 | 0.03 |

Построим гистограммы 1, 2 на основе полученных данных. Они отображают распределение Пуассона и распределение Гаусса.

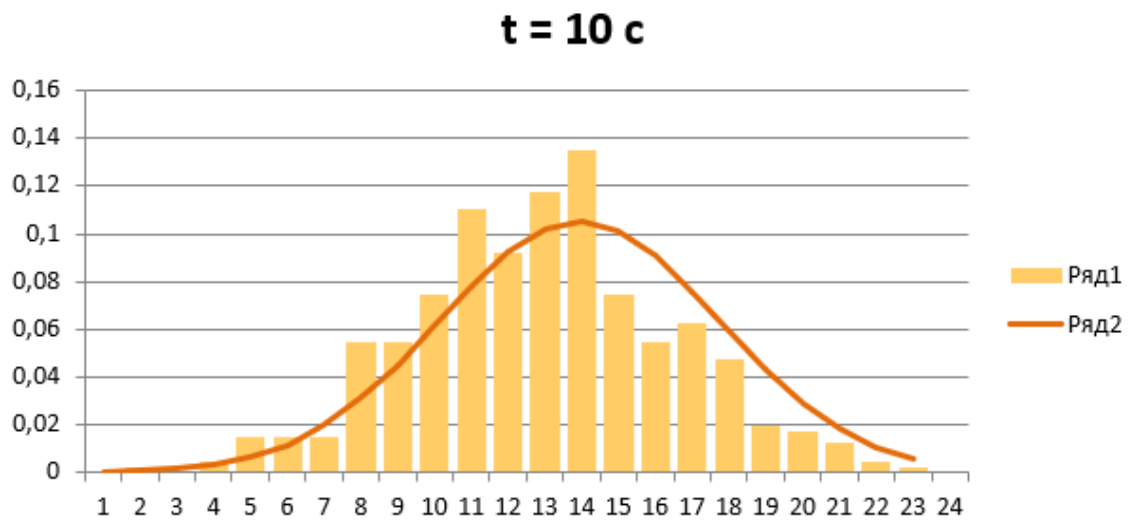


Рис. 2: Гистограмма для $t = 10\text{с}$

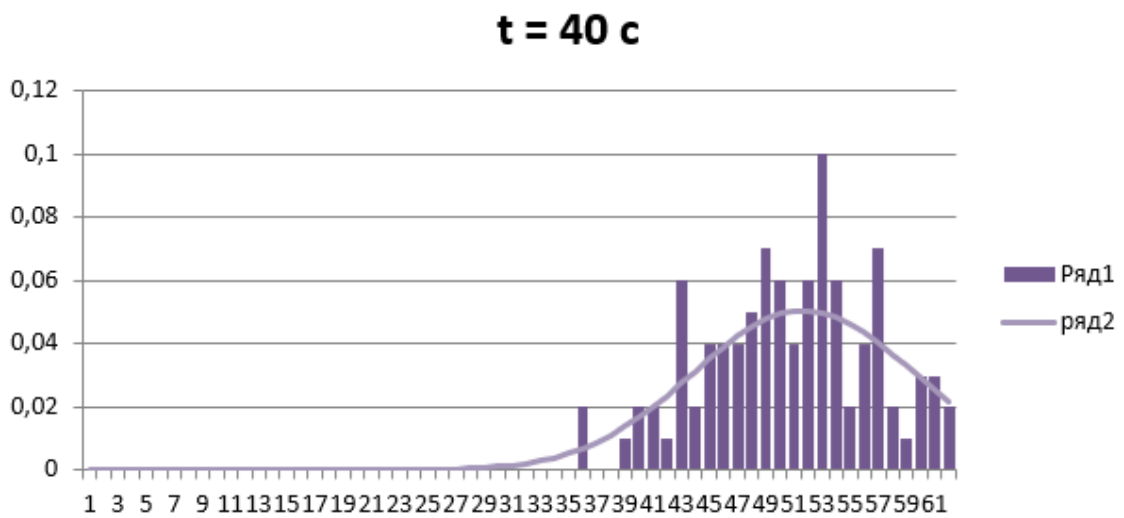


Рис. 3: Гистограмма для $t = 40\text{с}$

Определим среднее число частиц за 10 и 40 с:

$$\overline{n_{10}} = \frac{1}{N_{10}} \sum_{i=1}^{N_{10}} n_i = 12.93$$

$$\overline{n_{40}} = \frac{1}{N_{40}} \sum_{i=1}^{N_{40}} n_i = 51.72$$

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

$$\sigma_{\text{отд}10} = \sqrt{\frac{1}{N_{10}} \sum_{i=1}^{N_{10}} (n_i - \overline{n_{10}})^2} = 3.79$$

$$\sigma_{\text{отд}40} = \sqrt{\frac{1}{N_{40}} \sum_{i=1}^{N_{40}} (n_i - \overline{n_{40}})^2} = 7.88$$

Убедимся в справедливости формулы:

$$3.79 \approx \sqrt{12.93} = 3.60$$

$$7.88 \approx \sqrt{51.72} = 7.19$$

Найдем среднеквадратичное отклонение для средних значений по формуле:

$$\sigma_{\overline{n_{10}}} = \frac{\sigma_{\text{отд}10}}{\sqrt{N_{10}}} = 0.19$$

$$\sigma_{\overline{n_{40}}} = \frac{\sigma_{\text{отд}40}}{\sqrt{N_{40}}} = 0.79$$

Определим долю случаев для $t = 10$ с и сравним с теоретическими оценками:

| Ошибка | Число случаев | Доля случаев, % | Теоретическая оценка |
|-------------------------------|---------------|-----------------|----------------------|
| $\pm\sigma_{10} = \pm 3.6$ | 264 | 66 | 68 |
| $\pm 2\sigma_{10} = \pm 7.2$ | 379 | 94.75 | 95 |
| $\pm 3\sigma_{10} = \pm 10.8$ | 395 | 98.75 | 99 |

Определим долю случаев для $t = 40$ с и сравним с теоретическими оценками:

| Ошибка | Число случаев | Доля случаев, % | Теоретическая оценка |
|-------------------------------|---------------|-----------------|----------------------|
| $\pm\sigma_{40} = \pm 7.2$ | 79 | 79 | 68 |
| $\pm 2\sigma_{40} = \pm 14.4$ | 96 | 96 | 95 |
| $\pm 3\sigma_{40} = \pm 21.6$ | 99 | 99 | 99 |

Относительная ошибка:

$$\epsilon_{\overline{n_{10}}} = \frac{\sigma_{\overline{n_{10}}}}{\overline{n_{10}}} \approx 1.5\%$$

$$\epsilon_{\overline{n_{40}}} = \frac{\sigma_{\overline{n_{40}}}}{\overline{n_{40}}} \approx 1.5\%$$

Окончательный результат:

$$n_{10} = \overline{n_{10}} \pm \sigma_{\overline{n_{10}}} = 12.93 \pm 0.19$$

$$n_{40} = \overline{n_{40}} \pm \sigma_{\overline{n_{40}}} = 51.72 \pm 0.79$$

5 Вывод

В ходе выполнения работы познакомился с основными понятиями статистики: распределением Пуассона и распределением Гаусса. Удостоверился в возможности описания исследуемого процесса статистическими законами Пуассона и Гаусса. Определил среднее число регистрируемых космических лучей в секунду и определил погрешность результата.