

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Физтех-школа физики и исследований им. Ландау

Измерение интенсивности радиационного фона

Автор:
Шахматов Андрей Юрьевич
Б02-304

Долгопрудный 2023

Аннотация

Используя счётчик Гейгера-Мюллера, измерена интенсивность космического излучения с поверхности Земли на географических координатах (55° с. ш. 37° в. д.). Показано, что среднеквадратичное отклонение, полученное экспериментально, соответствует среднеквадратичному отклонению, вычисленному теоретически. Установлено, что средние значения и дисперсии пропорциональны длине интервала разбиения. Это может свидетельствовать о том, что распределение интенсивности частиц космического излучения соответствует распределению Пуассона.

Содержание

1 Введение	1
2 Методика	1
2.1 Методика проведения измерений	1
2.2 Методика анализа полученных результатов	2
3 Результаты и их анализ	2
4 Выводы	6
5 Используемая литература	7
6 Приложения	7
6.1 Измерения количества частиц за определённые интервалы времени	7
6.2 Таблицы для построения гистограмм	9

1 Введение

Измерение интенсивности космического излучения, попадающего на Землю, является важной задачей современной астрофизики. Считается, что распределением, соответствующим дискретным значениям с фиксированным средним является распределение Пуассона $w_n(\bar{n}) = \frac{\bar{n}^n}{n!} e^{-\bar{n}}$, где \bar{n} - среднее значение выборки. Однако неизвестно, подчиняются ли ему данные, характеризующие интенсивность космического излучения. Цель настоящей работы заключалась в измерении интенсивности космического излучения на Земле в точке с координатами (55° с. ш. 37° в. д.) и определении, соответствует ли оно распределению Пуассона.

2 Методика

2.1 Методика проведения измерений

Для измерения интенсивности космического излучения используется счётчик Гейгера-Мюллера (прибор СТС-6). Он представляет собой сосуд, наполненный газом, с двумя электродами. При пролёте частицы излучения выбивают электроны из газа, которые из-за действия сильного электрического поля, ускоряются и выбивают вторичные электроны, таким образом создаётся лавинный эффект. Контроллер счётчика способен уловить изменение тока и зарегистрировать частицу излучения.

2.2 Методика анализа полученных результатов

Чтобы проверить, соответствует ли распределение интенсивности космического излучения распределению Пуассона, можно произвести разбиение данных на несколько интервалов. Из теоретических расчётов [1] следует, что среднеквадратичные отклонения отдельных измерений σ_i связаны со средним значением выборки \bar{n} выражением

$$\sigma_i = \sqrt{n_i} = \sqrt{\bar{n}}. \quad (1)$$

Отношения среднеквадратичных отклонений $\frac{\sigma_{N_1}}{\sigma_{N_2}}$ для различных интервалов разбиений с числом отсчётов N_1, N_2 связаны со средними значениями выборок \bar{n}_1 и \bar{n}_2 выражением

$$\frac{\sigma_{N_1}}{\sigma_{N_2}} = \sqrt{\frac{\bar{n}_1}{\bar{n}_2}} = \sqrt{\frac{N_2}{N_1}}. \quad (2)$$

Среднеквадратичное отклонение среднего значения $\sigma_{\bar{n}}$ выражается через число отсчётов N и среднее значение \bar{n} :

$$\sigma_{\bar{n}} = \frac{\sigma_i}{\sqrt{N}} = \sqrt{\frac{\bar{n}}{N}}. \quad (3)$$

Относительная ошибка среднего значения $\epsilon_{\bar{n}}$ выражается через число отсчётов N и среднее значение \bar{n} :

$$\epsilon_{\bar{n}} = \frac{\sigma_{\bar{n}}}{\bar{n}} = \frac{1}{\sqrt{\bar{n}N}}. \quad (4)$$

Из формулы 4 следует, что относительная ошибка среднего не зависит от числа разбиений и уменьшается только при увеличении общего числа измерений. Соответствие результатов эксперимента значениям, полученным из формул 1, 2, 3, 4, может свидетельствовать о соответствии экспериментально полученного распределения распределению по Пуассону.

3 Результаты и их анализ

В эксперименте время накопления счётчиком Гейгера-Мюллера количества зарегистрированных частиц составляло 1 с. За время проведения эксперимента было накоплено 4000 точек, каждая длительностью 1 с. Вычислено среднее значение $\bar{n}_1 = 1.2515$ и среднеквадратичное отклонение $\sigma_1 = 1.1367$ полученного распределения. А также рассчитано среднеквадратичное отклонение $\sigma_{poisson_1} = 1.1187$, вычисленное из предположения, что распределение является распределением Пуассона (Формула 1). Соответствие значения \bar{n}_1 значению $\sigma_{poisson_1}$ может свидетельствовать о соответствии полученного распределения распределению Пуассона.

Из графика распределения (график 1) установлено, что распределение визуально соответствует Пуассоновскому.

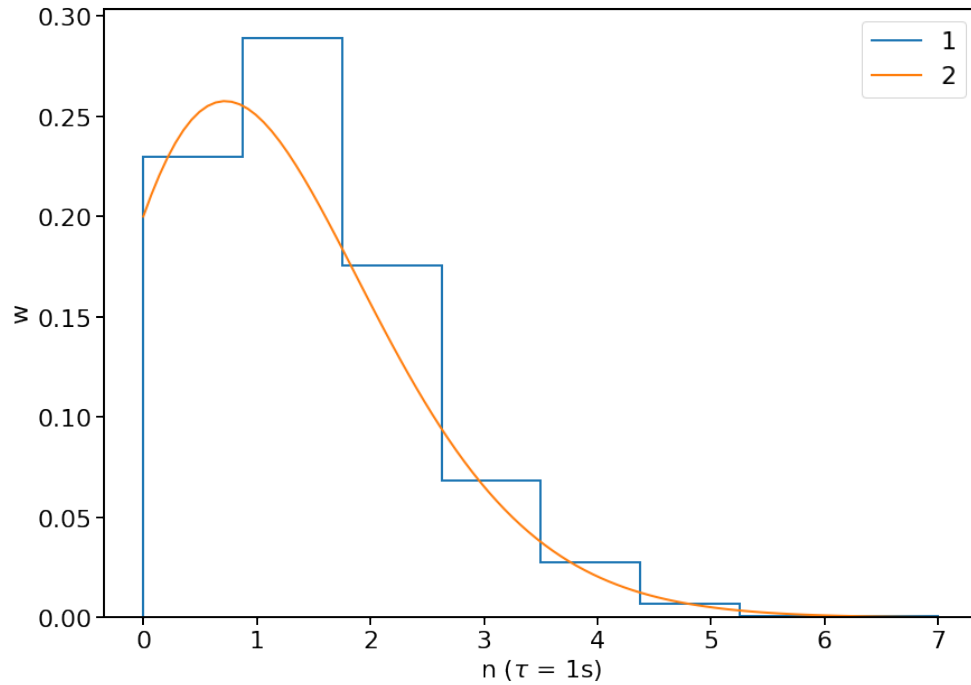


Рис. 1: Распределение количества частиц, зарегистрированных счётчиком Гейгера-Мюллера СТС-6, с усреднением по интервалу разбиения равным 1с. По оси w отложена доля количества частиц, зарегистрированных за интервал разбиения. По оси n отложены количества частиц, зарегистрированных за интервал разбиения. 1 - экспериментальное распределение, 2 - аппроксимирующее распределение Пуассона.

Для дальнейшего анализа распределения было произведено разбиение данных по интервалам 10, 20, 40 секунд (Таблицы 3, 4, 5) Гистограммы для для соответствующих разбиений представлены на рисунке 2.

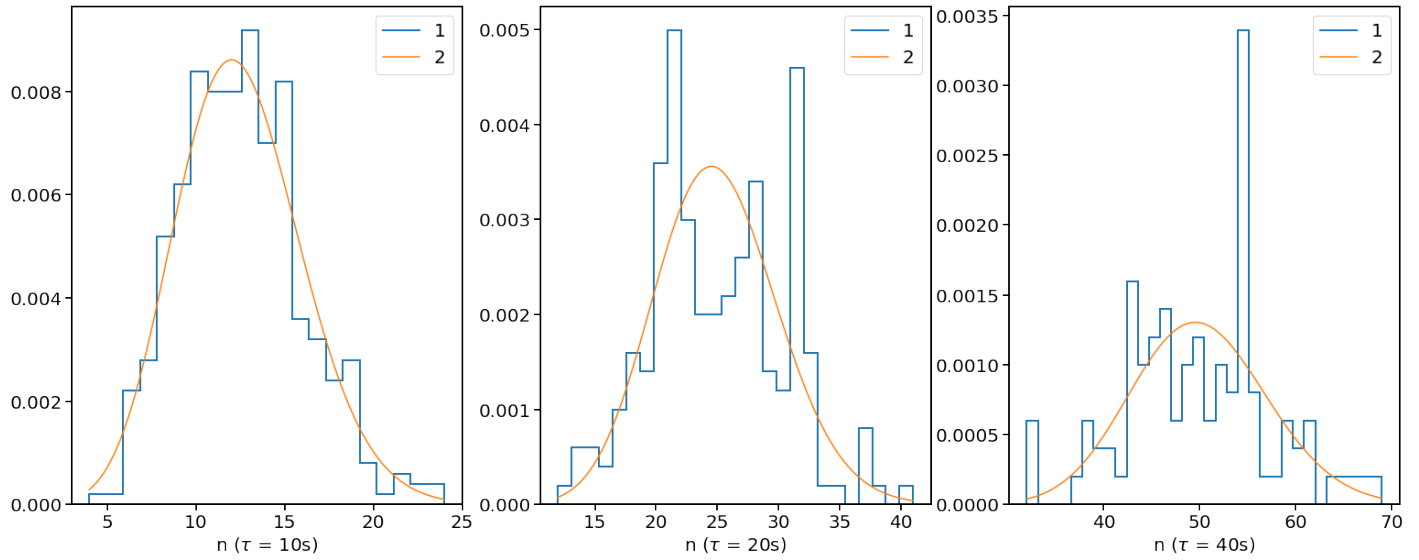


Рис. 2: Распределения количества частиц, зарегистрированных счётчиком Гейгера-Мюллера СТС-6, с усреднением по интервалам разбиения 10с, 20с и 40с. По оси w отложена доля количества частиц, зарегистрированных за интервал разбиения. По оси n отложены количества частиц, зарегистрированных за интервал разбиения. 1 - экспериментальное распределение, 2 - аппроксимирующее распределение Пуассона.

Из графика 2 можно сделать вывод, что распределение продолжает визуально соответствовать Пуассоновскому независимо от интервала измерения.

Для проведения сравнительного анализа распределений для двух интервалов разбиений построена совмещённая гистограмма для разбиений с числом разбиений 10с и 40с.

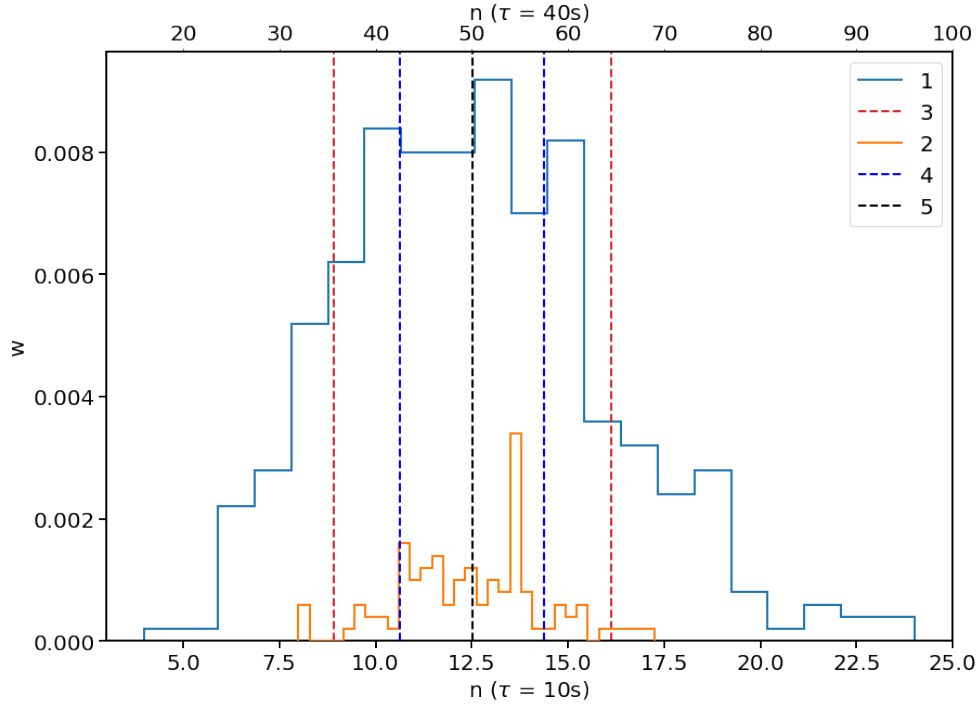


Рис. 3: Распределения количества частиц, зарегистрированных счётчиком Гейгера-Мюллера СТС-6, с усреднением по интервалам разбиения 10с и 40с. По оси w отложена доля количества частиц, зарегистрированных за интервал разбиения. По оси n отложены количества частиц, зарегистрированных за интервал разбиения. Разбиения построены на шкалах таким образом, чтобы среднее значения обоих распределений совпадало. 1 - распределение с интервалом разбиения 10с, 2 - распределение с интервалом разбиения 40с, 3 - среднеквадратичное отклонение распределения с интервалом разбиения 10с, 4 - среднеквадратичное отклонение распределения с интервалом разбиения 40с, 5 - среднее обоих распределений

Графически установлено, что стандартное отклонение для $\tau = 40\text{с}$ ($\sigma_{40} = 7.5$) примерно равно удвоенному значению стандартного отклонения для $\tau = 10\text{с}$ ($\sigma_{10} = 3.6$), что соответствует теории (Формула 1).

Для того чтобы проверить соответствие экспериментальных распределений на различных интервалах разбиений Пуассоновскому распределению рассчитано количество частиц попадающих в интервал σ и 2σ , полученные значения сравнены с рассчитанными теоретически[1] (Таблица 1).

Интервал разбиений	Стандартное отклонение	Доля случаев, %	Теоретическая оценка, %
$\tau = 1\text{с}$	$\pm\sigma = \pm 1.14$	58	68
	$\pm 2\sigma = \pm 2.27$	95	95
$\tau = 10\text{с}$	$\pm\sigma = \pm 3.60$	73	68
	$\pm 2\sigma = \pm 7.20$	97	95
$\tau = 20\text{с}$	$\pm\sigma = \pm 5.45$	63	68
	$\pm 2\sigma = \pm 10.89$	96	95
$\tau = 40\text{с}$	$\pm\sigma = \pm 7.50$	61	68
	$\pm 2\sigma = \pm 15.00$	93	95

Таблица 1: Доли попадания количества частиц, зарегистрированных за интервал разбиения τ в окрестности $\pm\sigma$ и $\pm 2\sigma$ от среднего значения соответствующего распределения.

Из таблицы 1 следует, что независимо от интервала разбиения доля случаев, полученная экспериментально, совпадает с теоретической оценкой.

Расчитаны стандартная ошибка (Формула 3) и относительная ошибка (Формула 4). Значения стандартной и относительной ошибок для различных интервалов разбиений и количеством отсчётов N представлены в таблице 2.

N	Среднее значение \bar{n}	Стандартная ошибка $\sigma_{\bar{n}_N}$	Относительная ошибка $\epsilon_{\bar{n}_N}$
4000	1.25	0.02	0.014
400	12.5	0.2	0.014
200	25.0	0.4	0.015
100	50.1	0.8	0.015

Таблица 2: Значения среднего, стандартной ошибки и относительной ошибки распределения количества частиц для различных интервалов разбиений

Теоретически предсказанная относительная ошибка составила $\sigma_{\bar{n}} = \frac{1}{\sqrt{4000 \cdot 1.25}} = 0.014$. Из полученных данных следует, что относительная ошибка не зависит от интервала разбиения данных, а также соответствует теоретической оценке.

4 Выводы

Среднее значение интенсивности космического излучения оказалось равно $(1.25 \pm 0.02) \frac{\text{частиц}}{\text{с}}$. При этом отношение средних значений интенсивности и их дисперсий для различных интервалов разбиения оказалось равно отношению длительностей соответствующих интервалов разбиения, что является характерным признаком распределения Пуассона. Отсюда следует, что распределение интенсивности космического излучения может подчиняться распределению Пуассона.

5 Используемая литература

Список литературы

[1] Лабораторный практикум по общей физике, Том 1, под редакцией А. Д. Гладуна

6 Приложения

6.1 Измерения количества частиц за определённые интервалы времени

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
0	15	14	18	15	14	19	9	13	14	9	6	16	11	4	14	15	10	15	18	16
1	12	15	13	9	19	13	7	14	13	14	16	14	12	19	11	13	18	13	23	15
2	14	12	9	8	11	11	15	17	10	12	9	9	14	15	17	16	14	9	12	19
3	9	13	15	22	13	11	12	20	15	13	15	9	16	10	14	12	12	16	10	18
4	14	13	12	7	13	18	11	11	17	11	20	11	13	9	17	15	10	17	13	15
5	13	15	10	11	7	13	9	12	8	10	18	15	16	9	11	15	14	14	16	12
6	12	16	13	8	8	24	11	12	9	11	15	15	14	12	15	13	11	8	10	9
7	13	12	12	15	11	16	10	10	16	13	20	17	16	16	17	11	23	10	9	11
8	8	12	7	18	17	11	6	9	11	19	14	10	8	9	7	13	13	9	8	8
9	15	16	10	10	9	15	8	15	10	14	19	13	12	14	11	8	9	10	10	10
10	22	10	10	10	7	10	15	22	20	9	7	13	9	11	13	11	18	12	7	13
11	11	7	12	15	12	15	12	11	14	6	8	15	15	13	12	13	13	7	14	16
12	15	18	12	13	11	10	19	14	15	12	12	8	15	8	13	8	10	11	17	5
13	11	12	6	12	9	8	17	9	6	8	10	8	17	10	12	9	12	11	9	17
14	10	12	12	8	10	10	10	13	14	17	14	7	10	15	11	19	15	10	13	10
15	10	16	14	15	19	18	13	15	9	12	12	11	10	6	14	17	10	8	14	13
16	11	12	16	15	6	12	15	10	11	18	13	12	13	18	17	14	11	11	13	13
17	6	8	9	10	15	11	10	14	11	6	10	11	19	12	7	7	19	16	19	13
18	14	13	19	14	19	13	15	8	9	14	24	17	15	12	14	14	11	21	8	10
19	14	14	8	7	13	11	12	8	9	10	15	13	13	9	11	13	6	6	13	8

Таблица 3: Количества частиц, зарегистрированных счётчиком Гейгера-Мюллера, с усреднением по интервалу 10 с

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	29	33	33	22	23	22	15	29	25	34
1	27	22	32	21	27	30	31	24	31	38
2	26	17	22	32	22	18	29	33	23	31
3	22	37	24	32	28	24	26	26	28	28
4	27	19	31	22	28	31	22	32	27	28
5	28	21	20	21	18	33	25	26	28	28
6	28	21	32	23	20	30	26	28	19	19
7	25	27	27	20	29	37	32	28	33	20
8	20	25	28	15	30	24	17	20	22	16
9	31	20	24	23	24	32	26	19	19	20
10	32	20	17	37	29	20	20	24	30	20
11	18	27	27	23	20	23	28	25	20	30
12	33	25	21	33	27	20	23	21	21	22
13	23	18	17	26	14	18	27	21	23	26
14	22	20	20	23	31	21	25	30	25	23
15	26	29	37	28	21	23	16	31	18	27
16	23	31	18	25	29	25	31	31	22	26
17	14	19	26	24	17	21	31	14	35	32
18	27	33	32	23	23	41	27	28	32	18
19	28	15	24	20	19	28	22	24	12	21

Таблица 4: Количества частиц, зарегистрированных счётчиком Гейгера-Мюллера, с усреднением по интервалу 20 с

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	62	55	45	44	59	49	53	57	55	69
1	43	54	40	62	54	59	56	52	52	56
2	46	53	59	54	55	49	41	51	51	56
3	49	55	50	54	38	52	47	66	60	53
4	45	43	54	37	38	51	47	56	45	39
5	52	54	49	44	50	45	50	43	53	50
6	58	54	47	44	43	41	43	32	48	49
7	42	43	52	55	48	55	65	44	47	45
8	54	43	54	62	48	33	50	38	45	67
9	60	55	64	55	50	43	44	47	46	33

Таблица 5: Количества частиц, зарегистрированных счётчиком Гейгера-Мюллера, с усреднением по интервалу 40 с

6.2 Таблицы для построения гистограмм

Число импульсов, n	Число случаев	Доля случаев, w
0	1151	0.28775
1	1448	0.362
2	879	0.21975
3	341	0.08525
4	139	0.03475
5	34	0.0085
6	5	0.00125
7	3	0.00075

Таблица 6: Данные для построения гистограммы 1. Интервал разбиения равен 1с

Число импульсов, n	Число случаев	Доля случаев, w
4	1	0.0025
5	1	0.0025
6	11	0.0275
7	14	0.035
8	26	0.065
9	31	0.0775
10	42	0.105
11	40	0.1
12	40	0.1
13	46	0.115
14	35	0.0875
15	41	0.1025
16	18	0.045
17	16	0.04
18	12	0.03
19	14	0.035
20	4	0.01
21	1	0.0025
22	3	0.0075
23	2	0.005
24	2	0.005

Таблица 7: Данные для построения гистограммы 2. Интервал разбиения равен 10с

Число импульсов, n	Число случаев	Доля случаев, w
12	1	0.005
14	3	0.015
15	3	0.015
16	2	0.01
17	5	0.025
18	8	0.04
19	7	0.035
20	18	0.09
21	12	0.06
22	13	0.065
23	15	0.075
24	10	0.05
25	10	0.05
26	11	0.055
27	13	0.065
28	17	0.085
29	7	0.035
30	6	0.03
31	12	0.06
32	11	0.055
33	8	0.04
34	1	0.005
35	1	0.005
37	4	0.02
38	1	0.005
41	1	0.005

Таблица 8: Данные для построения гистограммы 2. Интервал разбиения равен 20с

Число импульсов, n	Число случаев	Доля случаев, w
32	1	0.01
33	2	0.02
37	1	0.01
38	3	0.03
39	1	0.01
40	1	0.01
41	2	0.02
42	1	0.01
43	8	0.08
44	5	0.05
45	6	0.06
46	2	0.02
47	5	0.05
48	3	0.03
49	5	0.05
50	6	0.06
51	3	0.03
52	5	0.05
53	4	0.04
54	9	0.09
55	8	0.08
56	4	0.04
57	1	0.01
58	1	0.01
59	3	0.03
60	2	0.02
62	3	0.03
64	1	0.01
65	1	0.01
66	1	0.01
67	1	0.01
69	1	0.01

Таблица 9: Данные для построения гистограммы 2. Интервал разбиения равен 40с