

Отчёт о выполнении лабораторной работы
Измерение интенсивности радиационного фона
Лабораторная работа 1.1.4

Г.А. Кузин

Группа Б01-501 г. Долгопрудный, ФРКТ МФТИ, 18.09.2025

Аннотация

В работе исследованы распределения актов регистрации радиоактивного излучения с помощью счётчика Гейгера–Мюллера. Проведены измерения числа импульсов за фиксированные интервалы времени (10, 20, 40, 80 секунд), построены гистограммы распределения числа зарегистрированных частиц. Для каждого интервала рассчитаны среднее число регистрируемых частиц, среднеквадратичное отклонение, погрешность среднего значения. Экспериментальные результаты сопоставлены с распределениями Пуассона и Гаусса. Полученные данные подтвердили, что стандартное отклонение растёт пропорционально квадратному корню из среднего числа зарегистрированных счётов, что соответствует статистической природе радиоактивного распада.

Введение

При изучении природных и техногенных источников ионизирующего излучения важную роль играют методы его регистрации. Такие исследования необходимы для контроля радиационной обстановки, обеспечения безопасности на предприятиях атомной промышленности, в медицине при работе с рентгеновскими и радиоизотопными установками, а также в научных экспериментах по ядерной и космической физике. Одним из наиболее распространённых приборов для регистрации ионизирующего излучения является счётчик Гейгера–Мюллера. Он позволяет фиксировать отдельные взаимодействия частиц или квантов гамма-излучения с веществом и тем самым изучать статистические закономерности радиоактивного распада. Анализ распределения числа счётов за фиксированные интервалы времени даёт возможность экспериментально подтвердить вероятностный характер процессов распада и сопоставить результаты с теоретическими моделями распределения Пуассона и Гаусса. Целью данной работы являлось экспериментальное исследование статистических флуктуаций числа частиц, регистрируемых счётчиком Гейгера–Мюллера, построение распределений за различные интервалы времени и сравнение полученных данных с теоретическими предсказаниями.

Методика эксперимента

Для исследования статистики радиоактивного распада используется счётчик ионизированных частиц и источник излучения. Основная цель измерений — определить, как распределяется число зарегистрированных частиц за одинаковые промежутки времени, и сравнить эксперимент с теоретическими законами распределения. В ходе эксперимента фиксируется последовательность значений n_i , каждое из которых соответствует числу зарегистрированных импульсов за выбранный интервал времени t . Повторяя измерение много раз (с числом серий N), формируется статистическая выборка. Дальнейшая обработка основана на анализе этой выборки. Для количественного описания результатов вводятся следующие характеристики:

1. Среднее число зарегистрированных частиц \bar{n} :

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

2. Среднеквадратичное отклонение σ :

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (n_i - \bar{n})^2}.$$

3. Погрешность среднего $\sigma_{\bar{n}}$:

$$\sigma_{\bar{n}} = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}.$$

4. Интенсивность счётов I :

$$I = \frac{\bar{n}}{t}.$$

Полученное распределение числа событий сравнивается с теоретическими законами: распределением Пуассона (для малых \bar{n}) и гауссовым распределением (предельный случай при больших \bar{n}).

Результаты и их обсуждение

С помощью счетчика Гейгера–Мюллера производилась автоматическая регистрация числа частиц на широте города Долгопрудный. Перед началом работы было включено оборудование и программное обеспечение. В ходе эксперимента фиксировались распределения актов регистрации радиоактивного излучения за выбранные интервалы времени, а полученные данные сохранялись для дальнейшей обработки. На этапе обработки результаты были сгруппированы по интервалам времени. Для каждого интервала был сформирован статистический ряд распределения, который использовался для построения гистограммы: по оси абсцисс откладывалось число зарегистрированных частиц n , по оси ординат — частота их появления. Для каждого интервала времени построены таблицы распределения числа зарегистрированных импульсов (см. приложение) и соответствующие гистограммы с наложенными теоретическими кривыми распределений Пуассона и Гаусса. [2]

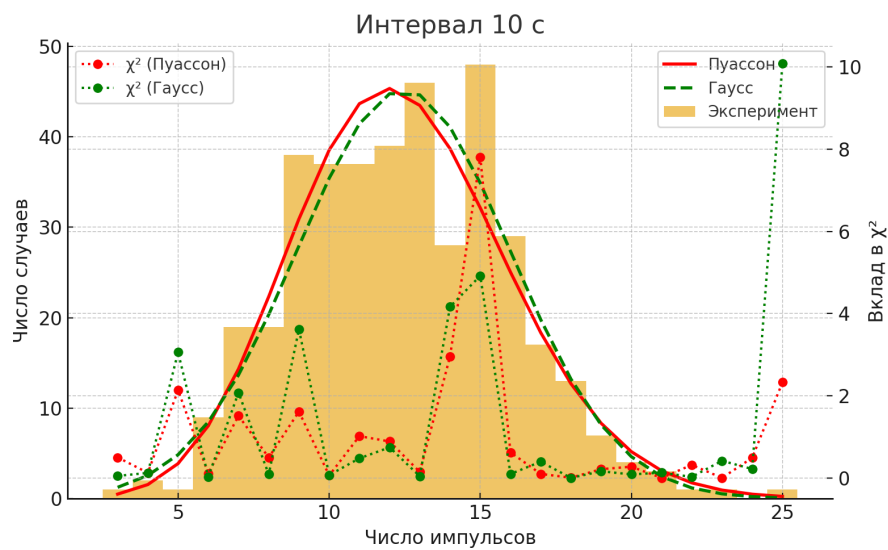


Рис. 1: Гистограмма (10 с) с наложенными кривыми Пуассона и Гаусса.

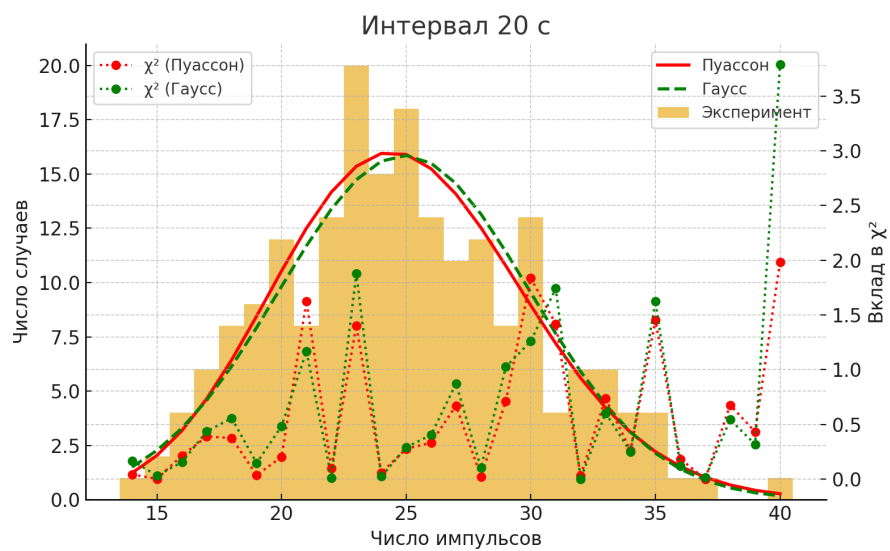


Рис. 2: Гистограмма (20 с) с наложенными кривыми Пуассона и Гаусса.

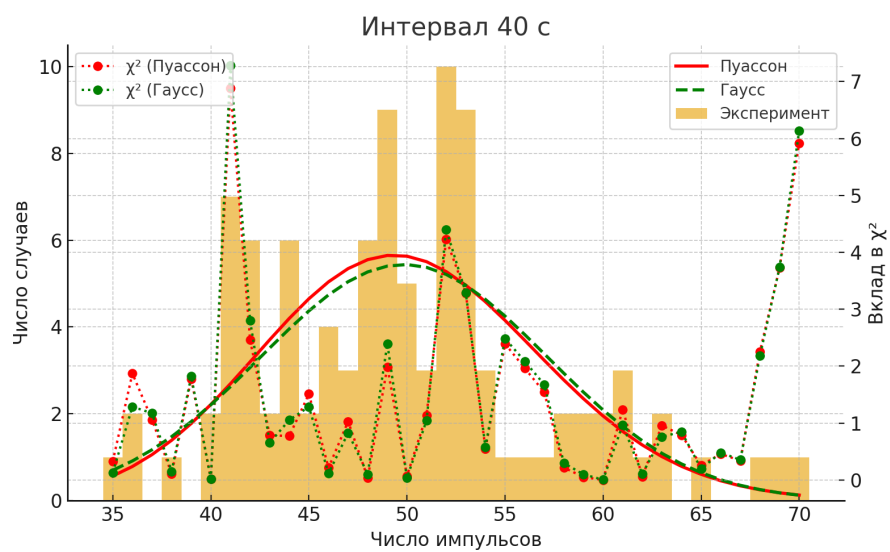


Рис. 3: Гистограмма (40 с) с наложенными кривыми Пуассона и Гаусса.

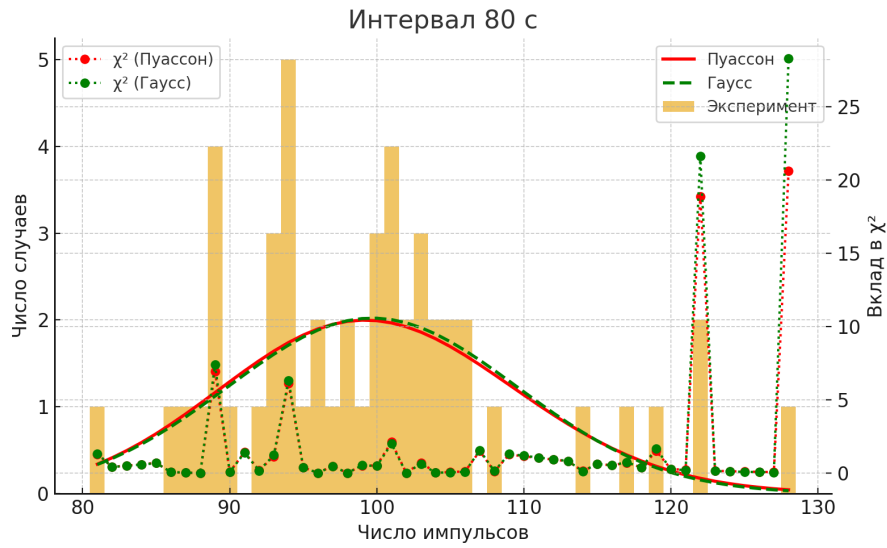


Рис. 4: Гистограмма (80 с) с наложенными кривыми Пуассона и Гаусса.

Анализ гистограмм распределения числа зарегистрированных импульсов и сравнительных графиков по критерию согласия χ^2 показывает, что для короткого интервала измерений (10 с) экспериментальные данные лучше описываются распределением Пуассона, что видно как по форме гистограммы, так и по меньшим вкладам в χ^2 по сравнению с гауссовским распределением. При увеличении интервала (20 и 40 с) различие между моделями уменьшается: обе кривые удовлетворительно совпадают с экспериментом, но распределение Пуассона сохраняет небольшое преимущество. Для самого длинного интервала (80 с) распределения Пуассона и Гаусса практически неразличимы: вклады в χ^2 малы для обеих моделей, что соответствует теоретическому предсказанию о сближении распределений при больших средних числах событий. Таким образом, результаты эксперимента подтверждают: при малых интервалах времени статистика регистрации ближе к распределению Пуассона чем к распределению Гаусса, а при росте интервала распределение плавно приближается к распределению Гаусса.

Выводы

В ходе эксперимента с использованием счётчика Гейгера–Мюллера были зарегистрированы частицы радиоактивного излучения, сгруппированные по временным интервалам различной длительности (10, 20, 40 и 80 секунд). Построенные гистограммы показали, что форма распределений зависит от длины интервала: при малом времени (10 с) экспериментальные данные лучше описываются распределением Пуассона, что подтверждается как визуальным совпадением гистограммы с теорией, так и анализом критерия согласия χ^2 . При увеличении интервала (20 и 40 с) различие между Пуассоном и нормальным распределением уменьшается, а для самого длинного интервала (80 с) оба закона практически неразличимы и дают одинаково хорошее описание экспериментальных данных. Таким образом, результаты подтверждают теоретическое предсказание: при малых интервалах времени регистрация частиц подчиняется распределению Пуассона, а при увеличении числа событий распределение плавно переходит к нормальному, при этом стандартное отклонение растёт пропорционально квадратному корню из среднего числа зарегистрированных частиц.

Приложение

Показано, сколько раз встречалось то или иное значение числа зарегистрированных частиц. Таблица служит основой для построения гистограммы и проверки согласия с распределениями Пуассона и Гаусса.

Таблица 1: Распределение числа импульсов за интервал 10 с

Число импульсов n	Число случаев	Доля случаев
3	1	0.0025
4	2	0.0050
5	1	0.0025
6	9	0.0225
7	19	0.0475
8	19	0.0475
9	38	0.0950
10	37	0.0925
11	37	0.0925
12	39	0.0975
13	46	0.1150
14	28	0.0700
15	48	0.1200
16	29	0.0725
17	17	0.0425
18	13	0.0325
19	7	0.0175
20	4	0.0100
21	3	0.0075
22	1	0.0025
23	1	0.0025
25	1	0.0025

Распределение числа зарегистрированных частиц за интервал 20 секунд. С увеличением интервала среднее число зарегистрированных частиц возрастает, а относительные колебания становятся меньше. (видно из построенных выше гистограм и графиков)

Таблица 2: Распределение числа импульсов за интервал 20 с

Число импульсов n	Число случаев	Доля случаев
14	1	0.0050
15	2	0.0100
16	4	0.0200
17	6	0.0300
18	8	0.0400
19	9	0.0450
20	12	0.0600
21	8	0.0400
22	13	0.0650
23	8	0.0400
24	13	0.0650
25	13	0.0650
26	13	0.0650
27	16	0.0800
28	11	0.0550
29	17	0.0850
30	15	0.0750
31	8	0.0400
32	8	0.0400
33	5	0.0250
34	4	0.0200
35	1	0.0050
36	2	0.0100
38	1	0.0050

Распределение числа зарегистрированных частиц за интервал 40 секунд. При большем интервале распределение становится более симметричным, что соответствует приближению к нормальному закону. (видно из построенных выше гистограм и графиков)

Таблица 3: Распределение числа импульсов за интервал 40 с

Число импульсов n	Число случаев	Доля случаев
33	1	0.0100
35	1	0.0100
36	1	0.0100
37	1	0.0100
38	3	0.0300
39	3	0.0300
40	2	0.0200
41	5	0.0500
42	6	0.0600
43	3	0.0300
44	7	0.0700
45	5	0.0500
46	4	0.0400
47	5	0.0500
48	6	0.0600
49	6	0.0600
50	6	0.0600
51	6	0.0600
52	7	0.0700
53	3	0.0300
54	2	0.0200
55	5	0.0500
56	2	0.0200
57	3	0.0300
58	3	0.0300
59	1	0.0100
60	3	0.0300
61	1	0.0100
62	1	0.0100
63	1	0.0100
64	2	0.0200
65	1	0.0100
67	1	0.0100

Таблица 4: Распределение числа импульсов за интервал 80 с

Число импульсов n	Число случаев	Доля случаев
74	1	0.0200
76	1	0.0200
77	1	0.0200
78	2	0.0400
79	1	0.0200
80	1	0.0200
81	2	0.0400
82	2	0.0400
83	3	0.0600
84	2	0.0400
85	3	0.0600
86	2	0.0400
87	3	0.0600
88	1	0.0200
89	2	0.0400
90	2	0.0400
91	3	0.0600
92	2	0.0400
93	1	0.0200
94	2	0.0400
95	1	0.0200
96	1	0.0200
97	3	0.0600
98	3	0.0600
99	1	0.0200
100	3	0.0600
101	1	0.0200
102	2	0.0400
103	1	0.0200
104	1	0.0200
105	1	0.0200
106	1	0.0200
107	1	0.0200
108	1	0.0200
109	2	0.0400
110	2	0.0400
111	1	0.0200
112	1	0.0200
113	1	0.0200
115	1	0.0200
118	1	0.0200
119	1	0.0200
121	1	0.0200

Список литературы

- [1] Д. А. Гладун, *Лабораторный практикум по общей физике*. — М.: Издательство, 2012.
- [2] Д. В. Сивухин, *Общий курс физики. Механика. Т. 1*. — ФИЗМАТЛИТ, 2016.