

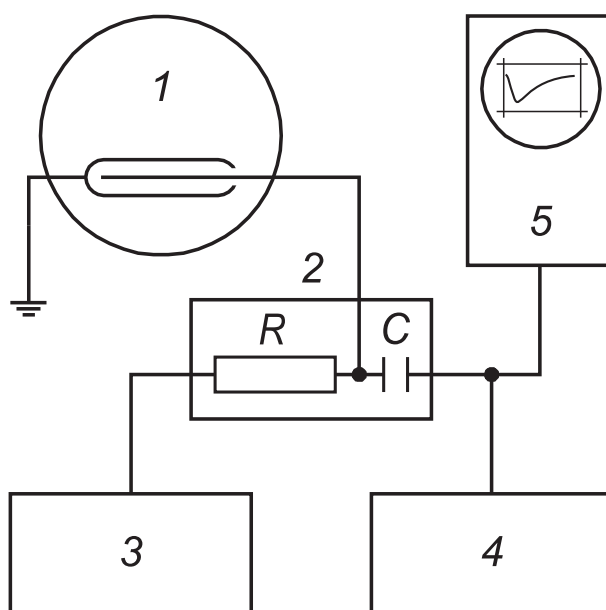
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

СЧЁТЧИК ГЕЙГЕРА-МЮЛЛЕРА

Поляков Даниил, 19.Б23-фз

Цель работы: изучить счётную характеристику счётчика Гейгера-Мюллера, определить его рабочую точку, разрешающее время, мёртвое время и время восстановления.

Схема установки



- 1 — вакуумная камера со счётчиком;
- 2 — плата с нагрузочным сопротивлением и переходной ёмкостью;
- 3 — источник высокого напряжения;
- 4 — пересчётный прибор;
- 5 — осциллограф.

Расчётные формулы

- Число импульсов от источника за вычетом фона:

$$m = M - N_{\phi}$$

M — измеренное число импульсов с источника;

N_{ϕ} — измеренное число импульсов без источника.

- Разрешающее время счётчика:

$$\tau = \frac{\sum_i m_i - m_{\Sigma}}{m_{\Sigma}^2 - \sum_i m_i^2} t$$

m_i — число импульсов от отдельного источника;

m_{Σ} — число импульсов от нескольких источников одновременно;

t — продолжительность измерения.

- Средневзвешенное разрешающее время счётчика:

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_k p_k \tau_k}{\sum_k p_k}, \quad p_k = \frac{1}{\Delta_{\tau_k}^2}$$

τ_k — разрешающее время счётчика по k -ому набору источников;

p_k — весовые коэффициенты;

Δ_{τ_k} — погрешность τ_k .

- Формулы для вычисления погрешностей:

- Стандартная ошибка среднего:

$$\Delta_{\bar{x}} = \sqrt{t^2 \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}$$

n — количество измерений;

t — коэффициент Стьюдента.

- Абсолютная погрешность косвенных измерений:

$$\Delta_{f(x_1, x_2, \dots)} = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1} \cdot \Delta_{x_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2} \cdot \Delta_{x_2}\right)^2 + \dots}$$

$$\Delta_m = \sqrt{\left(\frac{\partial m}{\partial M} \cdot \Delta_M\right)^2 + \left(\frac{\partial m}{\partial N_{\phi}} \cdot \Delta_{N_{\phi}}\right)^2} = \sqrt{\Delta_M^2 + \Delta_{N_{\phi}}^2}$$

$$\Delta_{\tau} = \sqrt{\sum_j \left(\frac{\partial \tau}{\partial m_j} \cdot \Delta_{m_j}\right)^2} = |\tau| \sqrt{\sum_j \left(\left(\frac{1}{\sum_i m_i - m_{\Sigma}} + \frac{2m_j}{m_{\Sigma}^2 - \sum_i m_i^2}\right) \cdot \Delta_{m_j}\right)^2}$$

Здесь $\{m\}_j = \{m\}_i \cup m_{\Sigma}$

$$\Delta_{\bar{\tau}} = \sqrt{\sum_k \left(\frac{\partial \bar{\tau}}{\partial \tau_k} \cdot \Delta_{\tau_k}\right)^2} = \frac{1}{\sqrt{\sum_k p_k}}$$

Порядок измерений

1. Изучим счётную характеристику счётчика и определим его рабочую точку.
 - 1.1. Устанавливаем источник излучения из Na в ячейку счётчика.
 - 1.2. Запускаем счёт импульсов. Начиная с напряжения на аноде 300 В, постепенно увеличиваем его, пока не начнётся регистрация импульсов прибором. Определяем соответствующее пороговое напряжение U_0 счётчика.
 - 1.3. Увеличивая напряжение U с шагом 10 В, измеряем количество импульсов N за промежуток времени 100 с. Для каждого значения напряжения выполняем измерение по 3 раза. Продолжаем измерения, пока не пересечём конец линейного участка характеристики.
 - 1.4. Выбираем рабочее напряжение U примерно посередине линейного участка характеристики.
2. Определим разрешающее время счётчика. Измерения проводим при выбранном рабочем напряжении.
 - 2.1. Убрав все источники излучения из счётчика, измеряем фон, т. е. количество импульсов N_{ϕ} , фиксируемых счётчиком за промежуток времени 100 с. Выполняем измерение 3 раза.
 - 2.2. Устанавливая радиоактивные образцы из Bi, Na и Eu в ячейки счётчика всеми возможными комбинациями (по одному, по два и все три одновременно), измеряем количество импульсов M за промежуток времени 100 с. Для каждой комбинации источников выполняем по 3 измерения.
 - 2.3. Повторяем измерение фона аналогичным методом.
3. Оценим мертвое время и время восстановления счётчика.
 - 3.1. Устанавливаем все источники излучения в ячейки счётчика. Изменением развёртки добиваемся на осциллографе изображения последовательных импульсов.
 - 3.2. Находим наиболее близко расположенные друг к другу импульсы. Примерно определяем мёртвое время счётчика t_m как промежуток времени между ними.
 - 3.3. Находим наиболее близко расположенные друг к другу импульсы с максимальной амплитудой. Примерно определяем сумму мёртвого времени и времени восстановления счётчика $t_m + t_v$ как промежуток времени между ними.

Результаты

Примечание: построение графика и его аппроксимация выполнены с помощью ПО MATLAB. Стандартная ошибка среднего рассчитана с доверительной вероятностью $P = 95\%$.

Продолжительность одного измерения во всех случаях:

$$t = 100 \text{ с}$$

1. Счётная характеристика счётчика

Пороговое напряжение счётчика:

$$U_0 = 321 \text{ В}$$

Таблица 1. Счётная характеристика счётчика

$U, \text{В}$	N			\bar{N}
321	1181	1216	1254	1220 ± 90
330	1594	1522	1591	1570 ± 100
340	1587	1581	1572	1580 ± 20
350	1591	1623	1603	1610 ± 40
360	1700	1658	1603	1650 ± 120
370	1659	1652	1621	1640 ± 50
380	1713	1747	1755	1740 ± 60
390	1763	1699	1749	1740 ± 80
400	1823	1748	1789	1790 ± 90
410	2063	1987	1956	2000 ± 140
420	2202	2104	2286	2200 ± 200

Наблюдаем, что количество зафиксированных счётчиком импульсов значительно флуктуирует при повторных измерениях, что связано со случайным характером радиоактивного излучения.

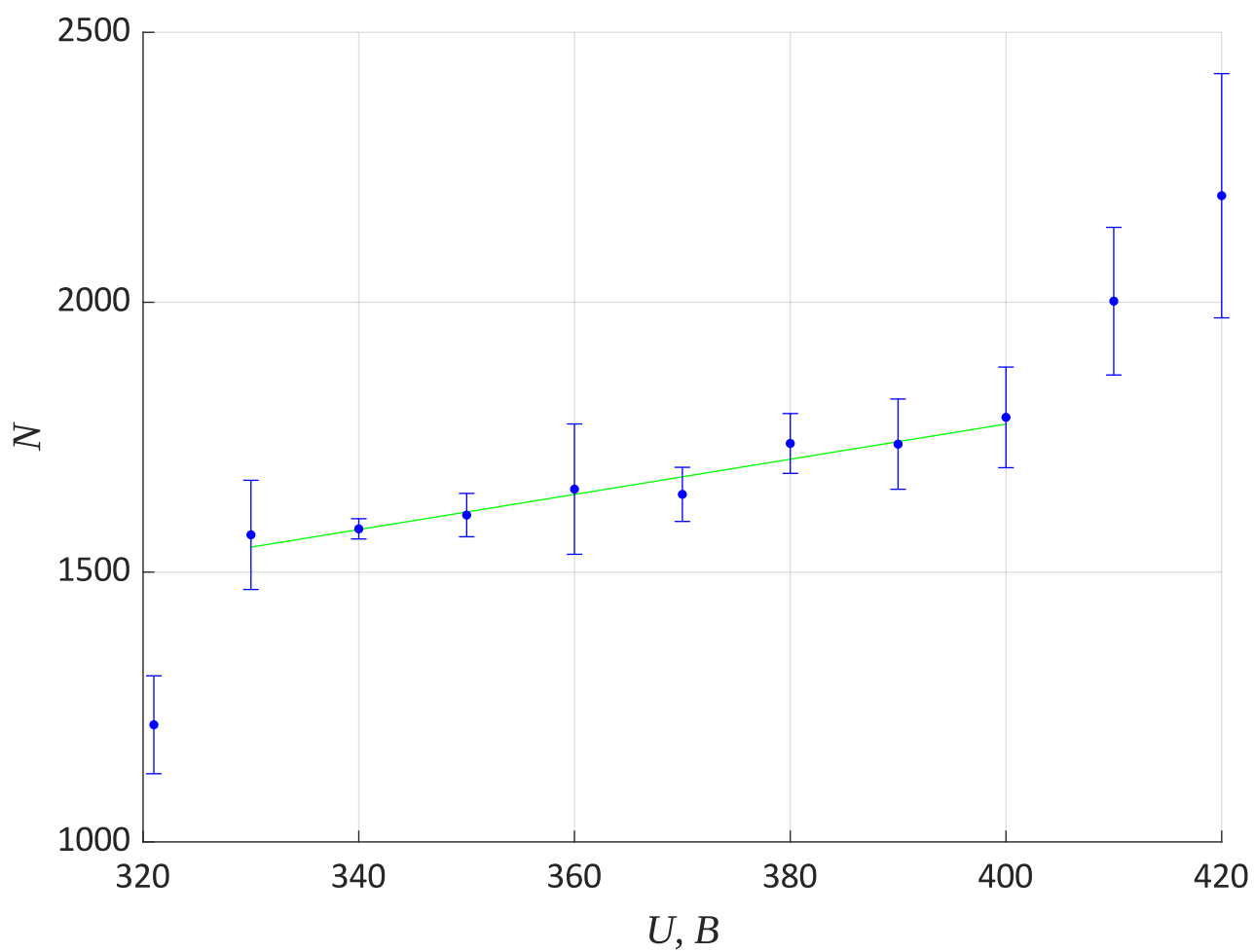


График. Счётная характеристика счётчика

Получаем линейный участок в промежутке от 330 до 400 В. Выбираем рабочее напряжение примерно посередине участка:

$$U = 360 \text{ В}$$

2. Определение разрешающего времени счётчика

Таблица 2. Число фоновых импульсов

Фон	$N_{\text{ф}}$			$\bar{N}_{\text{ф}}$
в начале	127	108	131	119 ± 10
в конце	106	120	119	

Таблица 3. Число импульсов от источников по отдельности

Источник	M_i			\bar{M}_i	m_i
Bi	8421	8435	8510	8460 ± 120	8340 ± 120
Na	1664	1684	1647	1670 ± 50	1550 ± 50
Eu	2914	2802	2768	2800 ± 200	2700 ± 200

Таблица 4. Число импульсов от нескольких источников и разрешающее время

Источник	M_{Σ}			\bar{M}_{Σ}	m_{Σ}	$\sum m_i$	τ , мс
Bi + Na	9838	9737	9948	9800 ± 300	9700 ± 300	9880 ± 130	0.7 ± 1.5
Na + Eu	4288	4159	4322	4300 ± 200	4100 ± 200	4300 ± 200	2 ± 4
Bi + Eu	10386	10450	10351	10400 ± 120	10280 ± 130	11000 ± 200	2.7 ± 1.2
Bi + Na + Eu	11917	12006	11930	11950 ± 120	11830 ± 120	12600 ± 200	1.3 ± 0.5

Во всех случаях число импульсов m_{Σ} , измеренное от нескольких источников одновременно, меньше суммы чисел импульсов $\sum m_i$, измеренных от источников по отдельности. Однако, из-за значительного колебания количества импульсов разрешающее время определяется с плохой точностью.

Средневзвешенное разрешающее время счётчика:

$$\bar{\tau} = 1.4 \pm 0.2 \text{ мс}$$

3. Оценка мёртвого времени и времени восстановления счётчика

Примерное мёртвое время счётчика, определённое как минимальный промежуток времени между последовательными импульсами:

$$t_m \approx 0.2 \text{ мс}$$

Примерный промежуток времени между импульсами максимальной амплитуды:

$$t_m + t_b \approx 0.7 \text{ мс}$$

Соответственно, время восстановления:

$$t_b \approx 0.5 \text{ мс}$$

Выводы

В ходе работы был успешно использован счётчик Гейгера-Мюллера для обнаружения ионизирующего излучения. Для регистрации импульсов к аноду счётчика должно быть приложено достаточное минимальное напряжение. Счётная характеристика счётчика имеет вид кривой с линейным участком, который представляет собой рабочую область счётчика.

Точность счётчика оценивается мёртвым временем, временем восстановления и разрешающим временем. В ходе работы эти параметры были определены. Из-за ограниченной разрешающей способности счётчика количество регистрируемых импульсов отличается от действительного. В нашей работе это проявляется в отличии зарегистрированного числа импульсов при использовании нескольких источников одновременно от суммы импульсов от источников по отдельности.