

# Исследование гальванометра\*

Иван Едигарьев

Московский Физико-Технический Институт  
Факультет Общей и Прикладной Физики, 526т

Цель работы: изучение работы высокочувствительного зеркального гальванометра магнито-электрической системы в режимах измерения постоянного тока и электрического заряда.

В работе используются: зеркальный гальванометр с осветителем и шкалой, источник постоянного напряжения, делитель напряжения, магазин сопротивлений, эталонный конденсатор, вольтметр, переключатель, ключи, линейка.

## I. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПОСТОЯННОЙ

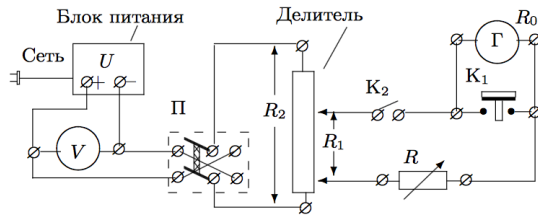


Рис. 1. Схема установки для работы гальванометра в стационарном режиме

**Экспериментальная установка.** Схема для исследования гальванометра в стационарном (или динамическом) режиме представлена на рис.1. Постоянное напряжение  $U \simeq 1,5$  В снимается с блока питания и измеряется вольтметром  $V$ . Ключ  $\Pi$  позволяет менять направление тока через гальванометр  $\Gamma$ , делитель напряжения — менять величину тока в широких пределах. Ключ  $\Pi$  служит для включения гальванометра, кнопка  $K_1$  — для его успокоения. Магазин сопротивлений  $R$  позволяет менять режим работы гальванометра от колебательного до апериодического.

При малых  $R_1$  сила тока, протекающего через гальванометр может быть вычислена по очевидной формуле:

$$I = U_0 \frac{R_1}{R_2} \frac{1}{R + R_0}, \quad (1)$$

где  $U_0$  — показания вольтметра,  $R_1/R_2$  — положение делителя,  $R$  — сопротивление магазина,  $R_0$  — внутреннее сопротивление гальванометра.

Угол отклонения рамки от положения равновесия измеряется с помощью осветителя, зеркальца, укрепленного на рамке, и шкалы, на которую отбрасывается луч света от зеркальца. Координата  $x$  светового

пятна на шкале связана с углом отклонения рамки формулой

$$x = a \operatorname{tg}(2\varphi),$$

где  $a$  — расстояние от шкалы до зеркальца. При малых углах можно считать, что  $\varphi = x/2a$ . Динамическую постоянную

$$C_I = \frac{I}{x/2a}, \quad (2)$$

как правило, выражают в единицах  $\left[ \frac{\text{А}}{\text{мм/м}} \right]$  (ток  $I$  измеряется в амперах,  $x$  — в мм,  $a$  — в метрах). Расстояние  $a$  обычно около метра, поэтому величина  $C_I$  определяет ток, при котором зайчик отклоняется на одно деление (1 мм).

## II. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ГАЛЬВАНОМЕТРА, РАБОТАЮЩЕГО В ДИНАМИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ

Измерение критического сопротивления гальванометра можно выполнить с помощью той же цепи (рис.1).

При больших  $R$  свободное движение рамки имеет колебательный характер. С уменьшением  $R$  затухание увеличивается, и колебательный режим переходит в апериодический.

Скорость затухания колебаний принято характеризовать декрементом затухания  $\Delta$ , равным отношению углов двух последовательных отклонений в одну сторону. Легко показать, что:

$$\Delta = \frac{\varphi_n}{\varphi_{n+1}} = \frac{x_n}{x_{n+1}} = e^{\gamma T},$$

где  $T$  — период колебаний:

$$T = \frac{2\pi}{\omega}. \quad (3)$$

Вместо декремента затухания  $\Delta$  можно рассматривать логарифмический декремент затухания  $\Theta$ :

$$\Theta = \ln \Delta = \gamma T = \ln \frac{x_n}{x_{n+1}}. \quad (4)$$

\* 3.2.6

Измеряя зависимость логарифмического декремента затухания от сопротивления внешней цепи, можно найти  $R_{кр}$ , т. е. значение  $R$ , при котором  $\Theta \rightarrow \infty$ . Измерения логарифмического декремента при сильном затухании затруднены, поэтому исследуем зависимость  $\Theta$  от  $R$ . Подставляя в (4) значения  $T$  из (3),  $\omega$ ,  $\gamma$  и  $\omega_0$ , получим

$$\Theta = \gamma T = 2\pi \frac{\gamma}{\omega} = \frac{2\pi\gamma}{\sqrt{\omega_0^2 - \gamma^2}} = \frac{2\pi R_3}{\sqrt{(R_0 + R)^2 - R_3^2}}, \quad (5)$$

где введено обозначение

$$R_3 = \frac{(BSN)^2}{2\sqrt{JD}} = R_0 + R_{кр}. \quad (6)$$

После простого преобразования равенства (5) получим

$$\frac{1}{\Theta^2} = \frac{(R_0 + R)^2}{4\pi^2 R_3^2} - \frac{1}{4\pi^2}. \quad (7)$$

Последнее уравнение, представленное на графике в координатах  $X = (R_0 + R)^2$ ,  $Y = 1/\Theta^2$  имеет вид прямой, угол наклона которой позволяет рассчитать критическое сопротивление:

$$R_{кр} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\Delta X}{\Delta Y}} - R_0 \quad (8)$$

### III. ОПРЕДЕЛЕНИЕ БАЛЛИСТИЧЕСКОЙ ПОСТОЯННОЙ И КРИТИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ГАЛЬВАНОМЕТРА, РАБОТАЮЩЕГО В БАЛЛИСТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ

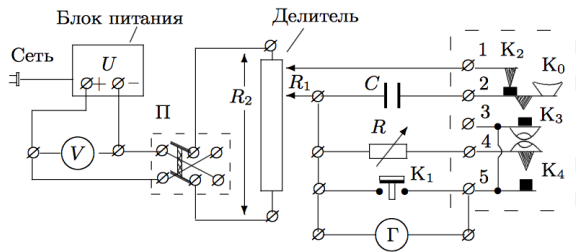


Рис. 2. Схема установки для определения баллистической постоянной

**Экспериментальная установка.** Для изучения работы гальванометра в режиме измерения заряда используется схема, представленная на рис. 2. Система ключей устроена так, что нормально ключ  $K_2$  замкнут, а ключи  $K_3$  и  $K_4$  разомкнуты. При нажатии на кнопку  $K_0$  сначала размыкается ключ  $K_2$ , затем замыкается  $K_3$  и через некоторое время —  $K_4$ .

При нормальном положении кнопки  $K_0$  конденсатор  $C$  заряжается до напряжения

$$U_C = \frac{R_1}{R_2} U_0.$$

Заряд конденсатора равен

$$q = CU_C = \frac{R_1}{R_2} U_0 C. \quad (9)$$

При нажатии на ключ  $K_0$  конденсатор отключается от источника постоянного напряжения (размыкается ключ  $K_2$ ) и подключается к гальванометру (замыкается ключ  $K_3$ ).

Ёмкость конденсатора выбрана так, что к моменту замыкания ключа  $K_4$  весь заряд успевает пройти через гальванометр, и рамка получает начальную скорость  $\dot{\varphi}(\tau)$ . При этом можно считать, что отклонение рамки, происходящее за время, протекающее между замыканием ключей  $K_3$  и  $K_4$ , равно нулю.

При замыкании ключа  $K_4$  гальванометр шунтируется внешним сопротивлением  $R$ , и в зависимости от величины этого сопротивления движение рамки описывается одним из уравнений.

Первый отброс зайчика  $l_{\max}$  после нажатия на кнопку  $K_0$  зависит от сопротивления внешней цепи, подключённой к гальванометру. Для определения  $R_{кр}$  используется то обстоятельство, что в критическом режиме максимальное отклонение зайчика в  $e$  раз меньше, чем у гальванометра без затухания.

Следует помнить, что наблюдать колебания рамки при полном отсутствии затухания, конечно, невозможно, т. к. даже при разомкнутой внешней цепи ( $R = \infty$ ) остаётся трение в подвеске и трение рамки о воздух. Величину максимального отклонения гальванометра без затухания  $\varphi_0$  можно, однако, рассчитать, если при разомкнутой цепи измерены максимальное отклонение рамки  $\varphi_1$  и логарифмический декремент затухания  $\Theta_0$ .

Легко показать, что

$$\varphi_0 = \varphi_1 e^{\Theta_0/4} \text{ или } l_0 = l_1 e^{\Theta_0/4}. \quad (10)$$

Баллистическая постоянная гальванометра  $C_{Q_{кр}}$   $\left[ \frac{\text{Кл}}{\text{мм/м}} \right]$  определяется при критическом сопротивлении ( $R = R_{кр}$ ):

$$C_{Q_{кр}} = \frac{q}{\varphi_{\max \text{ кр}}} = 2a \frac{R_1}{R_2} \frac{U_0 C}{l_{\max \text{ кр}}}, \quad (11)$$

где  $l_{\max \text{ кр}}$  — величина первого отброса в критическом режиме, выраженная в делениях шкалы (мм),  $a$  — расстояние от зеркальца до шкалы, выраженное в метрах, произведение  $U_0 C$  — заряд, выраженный в кулонах.

### IV. ЗАДАНИЕ

В работе предлагается определить динамическую постоянную, критическое сопротивление и оценить

линейность шкалы гальванометра, работающего в стационарном (токовом) режиме; определить критическое сопротивление и баллистическую постоянную гальванометра, работающего в баллистическом режиме (режиме измерения заряда).

1. Соберите электрическую цепь по рис.1 и подготовьте приборы к работе.

2. Для определения динамической постоянной снимите зависимость отклонения зайчика  $x$  от сопротивления магазина  $R$ , увеличивая сопротивление магазина, но не меняя делителя (8–10 значений).

3. Запишите показания вольтметра  $U_0$ , положение делителя  $R_1/R_2$ , величину  $R_2$  и внутреннее сопротивление гальванометра  $R_0$ , указанное на установке.

4. Проведите измерение логарифмического декремента затухания  $\Theta_0$  в режиме свободных колебаний.

5. Измерьте период  $T_0$  свободных колебаний рамки (приблизённо).

6. Определите критическое сопротивление. Для этого подберите **наибольшее** сопротивление магазина, при котором при размыкании ключа П зайчик не переходит за нулевое значение. Это сопротивление близко к критическому сопротивлению цепи  $R_{кр}$ .

7. Для расчёта  $\Theta$  проведите измерение отклонений зайчика после размыкания ключа П, увеличивая  $R$  от  $\simeq 3R_{кр}$  (близкое целое) до  $10R_{кр}$ .

8. Для исследования работы гальванометра в баллистическом режиме соберите схему по рис.2.

В режиме свободных колебаний (при разомкнутой цепи  $R$ ) определите первый отброс зайчика после замыкания ключа  $K_0$ . Подберите делитель так, чтобы при замыкании ключа  $K_0$  первый отброс  $l_{\max}$  соответствовал отклонению зайчика почти на всю шкалу.

Вновь подключите магазин  $R$ . Не меняя положения делителя, снимите зависимость первого отброса от величины  $R$  (8–10 значений).

9. Запишите положение делителя  $R_1/R_2$  и значение ёмкости  $C$ . Измерьте расстояние  $a$  от шкалы до зеркала гальванометра.

#### Обработка результатов

1. Рассчитайте токи  $I$  по формуле (1) и постройте график  $I = f(x)$ . Оцените линейность шкалы гальванометра. По наклону прямой рассчитайте динамическую постоянную  $C_I$  [А/(мм/м)] по формуле (2).

2. Рассчитайте логарифмический декремент затухания  $\Theta_0$  разомкнутого гальванометра по формуле (4).

3. Постройте график  $1/\Theta^2 = f[(R + R_0)^2]$  и по наклону прямой (в области малых  $R$ ) рассчитайте критическое сопротивление по формуле (8).

4. Постройте график  $l_{\max} = f[(R_0 + R)^{-1}]$ . Определите по графику критическое сопротивление гальванометра [с учётом (10)].

5. Рассчитайте баллистическую постоянную в критическом режиме  $C_{Q_{кр}}$  [Кл/(мм/м)] по формуле (11).

6. Сравните время релаксации  $t = R_0C$  и период свободных колебаний гальванометра  $T_0$ .

7. Сведите результаты эксперимента в таблицу.

8. Оцените погрешности и сравните полученные значения  $R_{кр}$ .

#### V. ДАННЫЕ