

Лабораторная работа № 333

ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ ЗЕРКАЛЬНОГО  
ГАЛЬВАНОМЕТРА

**Приборы и принадлежности:** гальванометр М17, лабораторная панель, длинный соленоид, катушка на вращающейся подставке.

**Введение.** Гальванометр – это электроизмерительный прибор высокой чувствительности, предназначенный для измерения тока, напряжения, прошедшего через него электрического заряда. Он также применяется в качестве индикатора нуля в мостовых и компенсационных приборах (см. лабораторные работы №307, №311).

В лабораторной практике наиболее распространены гальванометры постоянного тока магнитоэлектрической системы благодаря их уникально высокой чувствительности. Постоянная по току составляет порядка нА/(мм/м). Их устройство, принцип действия и теория движения рамки (основная деталь измерительного механизма) достаточно подробно описаны в пособиях [1,2]<sup>1</sup>, которое следует изучить перед выполнением данной работы.

**Целью** предлагаемой работы является 1)ознакомление с устройством, принципом действия и правилами эксплуатации гальванометра, 2)определение его метрологических параметров, 3)проведение наиболее распространенных измерений с применением гальванометра.

**Упражнение 1**

**Определение чувствительности гальванометра к току и его  
внутреннего сопротивления**

Пусть через измерительную рамку гальванометра протекает ток  $I_g$ , под действием которого рамка поворачивается на угол  $\beta$ , световой указатель («зайчик») гальванометра отклоняется на  $n$  делений шкалы, удаленной от рамки и от зеркала на расстояние  $b$ .

Одной из метрологических характеристик электроизмерительных приборов является *чувствительность к току* –  $S_I$ . Это физическая величина, численно равная углу отклонения указателя под действием тока 1 А.

---

<sup>1</sup> В квадратных скобках указана ссылка на номер источника из списка рекомендуемой литературы, приведенного в конце данного методического руководства.

$$S_I = \frac{\beta}{I_g} = \frac{n}{b} \frac{1}{I_g}. \quad (1)$$

Наряду с чувствительностью для этой же цели употребляется обратная величина – *постоянная по току*  $C_I$ , т.е. под влиянием какого тока рамка прибора поворачивается на единичный угол (радиан).

С практической точки зрения отклонение рамки лучше измерять не углом, а пропорциональной ему величиной – числом делений шкалы, на которое отклоняется указатель прибора,  $\beta = n/b$ . Так появляется еще одна метрологическая характеристика прибора – *цена деления шкалы* –  $c_I$ .

$$C_I = \frac{I_g}{\beta}, \quad c_I = \frac{I_g}{n} b. \quad (2)$$

Чтобы сказать, какова величина тока в амперах протекает через гальванометр, надо взять цену деления данного прибора и умножить на отсчет по шкале в делениях (мм), если гальванометр включается напрямую, без шунта.

Для определения любой из названных характеристик требуется знание *тока гальванометра*. Измерить ток  $I_g$  ничем другим кроме данного гальванометра мы не можем. Поэтому надо составить такую цепь, где можно отделить *малую* часть тока источника и определить, *какая часть известного тока* ответвляется в гальванометр. Для этой цели предлагается схема содержащая два *делителя напряжения* (рис.1). Один из них образован потенциометром  $R$ , другой – резисторами  $R_2, R_3$ .

Выключатель  $B_d$  шунтирует гальванометр с целью защитить его от перегрузки при настройке цепи, а также играет роль демфера (успокоителя) колебаний рамки за счет электромагнитного торможения ее.

Переключатель  $\Pi$  позволяет изменять направление тока в гальванометре.

Напишем уравнения Кирхгофа для той части цепи, в которую входит гальванометр.

$$I_g(R_1 + r) - I_2 R_2 = 0, \quad \text{контур } 2-3-4-5-2.$$

$$I_2 R_2 + I_3 R_3 = U, \quad \text{для контура } 1-2-6-7-1.$$

$$I_g + I_2 - I_3 = 0, \quad \text{для узла } 5.$$

$r$  – сопротивление гальванометра.

Решая эту систему относительно  $I_g$ , получим следующее:

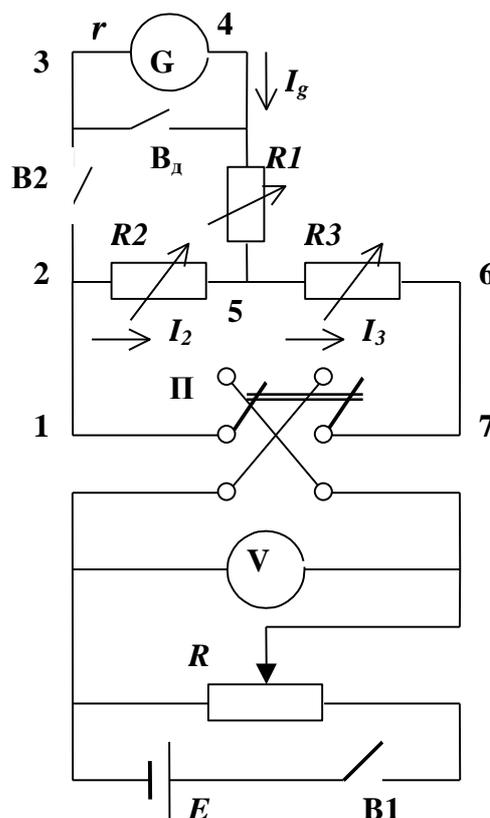


Рис.1

$$\frac{1}{I_g} = \frac{R_2 + R_3}{UR_2} R_1 + \frac{r(R_2 + R_3) + R_2 R_3}{UR_2}. \quad (3)$$

Из формулы (1)

$$\frac{1}{I_g} = bS_I \frac{1}{n}. \quad (4)$$

Приравнивая правые части выражений (3) и (4), получим равенство

$$bS_I \frac{1}{n} = \frac{R_2 + R_3}{UR_2} R_1 + \frac{r(R_2 + R_3) + R_2 R_3}{UR_2},$$

из которого получим следующее уравнение для  $1/n$ :

$$\frac{1}{n} = \frac{R_2 + R_3}{UR_2 bS_I} \cdot R_1 + \frac{r(R_2 + R_3) + R_2 R_3}{UR_2 bS_I}. \quad (5)$$

Уравнение (5) является уравнением прямой в координатах  $1/n$  и  $R_1$ , а ее угловой коэффициент содержит интересующую нас величину –  $S_I$ . Далее становится понятным, что делать. Надо снять зависимость отклонения указателя гальванометра  $n$  от сопротивления  $R_1$ , построить график  $1/n$  от  $R_1$ , определить из графика угловой коэффициент полученной прямой. Из равенства

$$\frac{R_2 + R_3}{UR_2 bS_I} = \frac{\Delta(1/n)}{\Delta R_1}$$

получим чувствительность к току  $S_I$  (мм/м)/А (здесь  $b$  принято измерять в м)

$$S_I = \frac{R_2 + R_3}{UR_2 b} \cdot \frac{\Delta R_1}{\Delta(1/n)}. \quad (6)$$

Обратная величина дает постоянную гальванометра по току  $c_I$  в А/(мм/м).

Положив в уравнении (5)  $(1/n)=0$ , получим координату точки пересечения графика с осью абсцисс  $R_1^*$

$$R_1^* = -\left( r + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} \right). \quad (7)$$

Если учесть, что в делителе напряжения  $R_2 \ll R_3$ , то из предыдущего равенства получится следующее:

$$R_1^* = -(r + R_2). \quad (8)$$

В этом выражении заключена возможность определения внутреннего сопротивления гальванометра  $r$ .

**Измерения.** 1. Подготовьте приборы к работе. Для этого требуется сделать следующее:

- выключатель **В<sub>д</sub>** (он закреплен на стене) замкните, чтобы при случайном ошибочном включении обезопасить гальванометр,
- переключатель **П** поставьте в нейтральное положение,
- выключатели **В1** и **В2** разомкните,
- установите указанные на установке значения  $R_1$   $R_2$   $R_3$ ,
- включите осветитель гальванометра,

- установите «зайчик» на ноль шкалы путем ее перемещения.
- 2.Соберите электрическую цепь по схеме (рис.1).
- 3.Предложите преподавателю или лаборанту проверить сборку.
- 4.Замкните выключатель **В1** и потенциометром  $R$  установите по вольтметру напряжение **0,1 В**.
- 5.Замкните выключатель **В2** и переключатель **П**.
- 6.Разомкните демпфер  $V_d$  , «зайчик» гальванометра при этом должен прийти в движение.
- 7.Установите на магазине  $R_3$  такое сопротивление, чтобы отклонение «зайчика» на шкале составило 200 мм. Значение  $R_3$  и показание вольтметра впишите в табл.1.
- 8.Увеличивая сопротивление  $R_1$  (начинать следует с младшей декады), получите отклонение “зайчика” 180; 160;...20 мм. **Следите** при этом за показаниями вольтметра и поддерживайте их все время одинаковыми потенциометром  $R$ . Значения  $R_1$  каждый раз записывайте в табл.1.

Таблица 1

$U, В$	$n, мм$	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$1/n, мм^{-1}$

**Обработка результатов.** 1.Вычислите  $1/n$ .

2.Постройте график зависимости  $1/n$  от сопротивления  $R_1$ .

3.Используя график и формулу (6), вычислите чувствительность гальванометра к току  $S_I$  и обратную ей величину – постоянную по току  $c_I$  (число  $n$  берется в мм, в то время как величина  $b = 1,4 м$  – в метрах!).

4.Определите внутреннее сопротивление гальванометра  $r$  из формулы (8).

Таким образом, определив постоянную по току, мы получаем в распоряжение измерительный прибор для измерения очень слабых токов, который включается в цепь как амперметр – последовательно. Если для прямого измерения ток великоват, то параллельно рамке гальванометра ставится шунт с известной кратностью  $k$ . Но тогда постоянная по току увеличится в  $k$  раз. Расчет и подбор шунтов описан в лаб. работе № 309.

При установке шунта общее сопротивление гальванометра с шунтом уменьшается, что приводит к более медленному повороту рамки, а значит не позволяет измерять токи, быстро изменяющиеся со временем. Работа гальванометра в цепях с очень медленными изменениями тока (по сравнению с периодом свободных колебаний рамки) называется *статическим* режимом работы гальванометра. В упр.2 рассмотрен *динамический* режим гальванометра, когда требуется более быстрая реакция гальванометра на меняющуюся величину тока, и как достичь сокращения времени движения рамки.

## Упражнение 2

### Определение критического сопротивления и чувствительности гальванометра к напряжению

Для этого упражнения используется та же электрическая цепь (см. схему на рис.1), но другие начальные установки (см. рекомендации к упр.2).

**Измерения.** 1.С помощью потенциометра  $R$  получить отклонение “зайчика” на 50...60 делений шкалы.

2.Разомкните переключатель  $\Pi$  и наблюдайте характер движения “зайчика” к нулю. Если “зайчик” совершает колебания около нулевого положения, то следует уменьшать сопротивление  $R_1$  до тех пор, пока при замыкании и размыкании переключателя колебания “зайчика” около положений равновесия не исчезнут. В то же время движение “зайчика” должно быть наиболее быстрым. Но тогда он может несколько проскакать положение равновесия. Опытные экспериментаторы считают, что регулировку сопротивления  $R_1$  следует прекратить, если “зайчик” переходит положение равновесия не более половины деления шкалы (не более  $\frac{1}{2}$  мм). Выходит, метод субъективен.

Значение сопротивления  $R_1$ , на котором остановились, выбирая оптимальный характер движения “зайчика”, обозначим  $R_{1к}$ . При этом в цепи гальванометра находится не только данное сопротивление, но еще и сопротивление самого гальванометра  $r$ , а также сопротивление  $R_2$ . Сумма этих трех сопротивлений составляет так называемое *критическое сопротивление*  $R_{кр}$ , обеспечивающее самое благоприятное перемещение “зайчика”: кратчайшее время приближения к положению равновесия и отсутствие колебаний около него. Гальванометр с критическим сопротивлением *наилучшим образом* подходит для измерения не только стационарного, но и изменяющегося со временем тока.

$$R_{кр} = R_{1к} + R_2 + r. \quad (9)$$

Поскольку наиболее благоприятные условия работы гальванометра – это доведение сопротивления в его цепи до критического, то можно оценить *чувствительность гальванометра по напряжению*, исходя из величины  $R_{кр}$ .

Чувствительностью гальванометра по напряжению  $S_U$  называется физическая величина, равная числу делений, на которое отклоняется указатель под действием напряжения 1 В.

Чувствительностью  $S_U$  связана с чувствительностью по току  $S_I$  и критическим сопротивлением следующим образом:

$$S_U = \frac{S_I}{R_{кр}} \left[ \frac{\text{мм/м}}{\text{В}} \right]. \quad (10)$$

Постоянной по напряжению называется обратная величина

$$c_U = \frac{1}{S_U} \left[ \frac{\text{В}}{\text{мм/м}} \right]. \quad (11)$$

### Упражнение 3

#### Определение периода и логарифмического декремента затухания колебаний рамки

**Измерения.** 1. Установите начальные значения сопротивлений согласно рекомендациям к упр.3.

2. С помощью потенциометра  $R$  получите отклонение «зайчика» 80-100 мм.

3. Разомкните выключатель **В2** (сопротивление в цепи гальванометра при этом становится бесконечно большим), «зайчик» вернется к нулю шкалы и совершит при этом несколько затухающих колебаний. Определите по секундомеру продолжительность 2-3 полных колебаний с целью определить их «период». Повторите эту процедуру не менее трех раз, чтобы иметь возможность найти среднее значение периода свободных колебаний  $T_0$  и их циклическую частоту  $\omega_0 = 2\pi/T_0$ .

4. Измерьте *наибольшие* отклонения двух следующих друг за другом колебаний «зайчика»  $A_k$  и  $A_{k+1}$  по одну сторону от нуля (лучше – справа). По измеренным результатам определите логарифмический декремент затухания колебаний  $d_\infty$  рамки гальванометра при бесконечном сопротивлении.

$$d = \ln \frac{A_k}{A_{k+1}}. \quad (12)$$

5. Замкните **В2**, теперь цепь гальванометра содержит установленное вначале сопротивление  $R_1$ , а также  $R_2$  и  $r$  другие. Включая и выключая ток в гальванометре переключателем **П**, снимите зависимость логарифмического декремента затухания по мере уменьшения  $R_1$  до тех пор, пока колебания «зайчика» имеют место. Результаты запишите в табл.2.

Таблица 2

$R_1$	$A_k$	$A_{k+1}$	$d$	$1/d$

6. Постройте график зависимости  $1/d = f(R_1)$ . Следует ожидать [2] линейный вид этой зависимости. Если экстраполировать график  $1/d \rightarrow 0$ , то он пересекает ось абсцисс при  $R_1 \rightarrow R_{1к}$ , что дает возможность определить критическое сопротивление (9) еще одним способом. Действительно, при критическом сопротивлении в цепи гальванометра движение рамки к положению равновесия происходит без колебаний, апериодически, что можно интерпретировать как «колебания» с очень большим декрементом затухания.

$$R_{кр} = R_{1к} + R_2 + r.$$

Сравнить критическое сопротивление, определенное этим способом и тем, который использован в упр.2.

### Упражнение 4

#### Определение баллистической постоянной гальванометра $C_q^\infty$ и ёмкости конденсатора

Баллистический режим работы гальванометра (на физическом жаргоне – *баллистический гальванометр*, здесь уместна аналогия с баллистическим маятником) применяется для измерения величины электрического заряда  $q$ , прошедшего по цепи при кратковременном импульсе тока, например, при разряде конденсатора. Предполагается, что длительность импульса много меньше периода свободных колебаний рамки гальванометра [3,4]. При таком допущении очевидно, что весь заряд пройдет через рамку за столь короткое время, что она не успеет отклониться. Рамка, однако, при этом получает толчок, от величины которого зависит угол, на который она повернется, значит угол  $\beta$  пропорционален заряду  $q$ .

$$q = C_q^\infty \beta, \quad (13)$$

где  $C_q^\infty$  – баллистическая постоянная при бесконечном сопротивлении в цепи рамки гальванометра. При таком условии торможение рамки минимальное (см. упр.3).

Из формулы (13) вытекает определение баллистической постоянной

$$C_q^\infty = \frac{q}{\beta} = \frac{qb}{n}, \quad (14)$$

где  $n$  – максимальное число делений шкалы, на которое отклоняется «зайчик» при «проскакивании» через рамку заряда  $q$  (первый баллистический отброс).

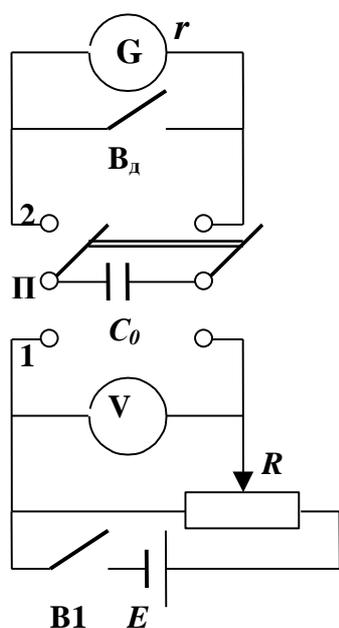


Рис.2

Баллистическую постоянную можно определить экспериментально, используя для этого конденсатор с известной емкостью  $C_0$  (эталонный), включив его в электрическую цепь, схема которой приведена на рис.2.

Эталонный конденсатор заряжается до разности потенциалов  $U_0$  от источника тока (переключатель П в положении 1), затем разряжается через гальванометр Г (переключатель П в положении 2). Электрический заряд

$$q = C_0 U_0 \quad (15)$$

протекает через рамку гальванометра. Подставляя заряд (15) в формулу (14), получим выражение для определения баллистической постоянной:

$$C_q^\infty = \frac{b C_0 U_0}{n_0}. \quad (16)$$

Если *вместо* конденсатора  $C_0$  включить другой конденсатор с неизвестной емкостью  $C_1$  и зарядить его

до разности потенциалов  $U_1$ , то знание баллистической постоянной дает возможность определить емкость  $C_1$  по формуле

$$C_1 = C_q^\infty \frac{n_1}{bU_1}. \quad (17)$$

**Измерения.** 1.Замкните демпфер  $\mathbf{B}_d$  в целях предохранения гальванометра.

2.Соберите электрическую цепь по схеме (рис.2) и предложите преподавателю или лаборанту проверить ее.

3.Замкните выключатель  $\mathbf{B1}$  и установите напряжение  $U_0=0,50$  В.

4.Переключателем  $\mathbf{\Pi}$  подключите конденсатор к источнику питания (переключатель в положении  $\mathbf{1}$ ), в результате чего он зарядится до  $0,50$  В.

5.Разомкните демпфер  $\mathbf{B}_d$  и проверьте, находится ли световой указатель на нулевой отметке шкалы. Если нет, то добейтесь этого. Как это можно сделать?

6.Переведите переключатель в положение  $\mathbf{2}$  и засеките на шкале наибольшее отклонение «зайчика» –  $n_0$ .

7.Результаты измерений  $n_0$  при трех различных напряжениях  $U_0$  внесите в табл.3.

Таблица 3

$U_0$	$n_0$	$C_q^\infty$	$U_1$	$n_1$	$C_1$

8.Включите вместо  $C_0$  конденсатор неизвестной емкости  $C_1$  и проведите с ним аналогичные измерения баллистических отбросов  $n_1$  (п.3-6).

9.**Обработка результатов** сводится к вычислению баллистической постоянной по формуле (16) и определению емкости  $C_1$  по формуле (17), а также определению ширины доверительного интервала по Стьюденту.

10.Проверьте, выполняется ли следующее равенство:

$$C_q^\infty = \frac{C_I}{\omega_0} = \frac{1}{2\pi} C_I T_0.$$

Его существование обосновано в пособии [2], там это формула (66). Напоминаем также, что  $C_I$  – чувствительность к току,  $T_0$  – период свободных колебаний рамки (см. упр.1 и 3). Эта проверка является одним из элементов контроля за правильностью измерений и вычислений параметров гальванометра.

### Упражнение 5

#### Определение баллистической постоянной $C_q^{кр}$

Когда к гальванометру присоединен конденсатор, то сопротивление этой цепи действительно очень большое. Но возможна и другая ситуация.

Пусть к гальванометру присоединена катушка, в которой возбуждается короткий импульс. В этом случае импульс проходит по цепи, в том числе и через гальванометр, но сопротивление ее не такое большое как с конденсатором, скорее даже малое. Рассмотрим цепь, схема которой

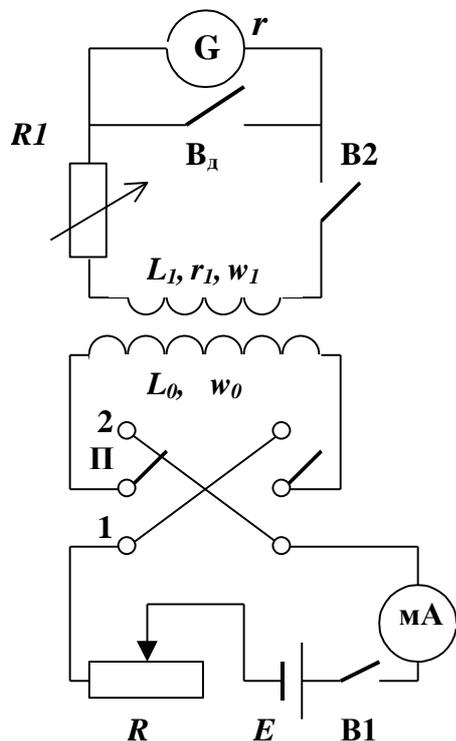


Рис.3

приводится на рис.3. В цепь гальванометра входит катушка с индуктивностью  $L_1$  и активным сопротивлением  $r_1$ , а также магазин сопротивлений  $R_1$ . Приведенная схема отличается от рассмотренной выше (упр.4) тем, что здесь сопротивление в цепи гальванометра во-первых, не бесконечное и таковым оно *быть не может*, во-вторых, его *можно изменять* за счет  $R_1$ . А это значит, что в зависимости от величины сопротивления характер движения рамки к положению равновесия и около него становится разным и этот выбор в руках экспериментатора. В данных условиях наиболее благоприятным является релаксационное движение критического характера. Для этого сопротивление цепи гальванометра должна быть критическим  $R_{кр}$ , величина которого определена в упр. 2 и 3. Поэтому на магазине  $R_1$  надо установить

$$R_1 = R_{кр} - (r + r_1).$$

Рассмотрим реакцию гальванометра на импульс тока в цепи, обладающей критическим сопротивлением. Если в катушке  $L_1$  с числом витков  $w_1$  за  $dt$  секунд изменить магнитный поток на  $d\phi$ , то в катушке будет наведена ЭДС индукции.

$$E_{in} = -w_1 \frac{d\phi}{dt}.$$

Возникший под действием ее индукционный ток  $i$  создаст в катушке  $L_1$  ЭДС самоиндукции

$$E_{sin} = -L_1 \frac{di}{dt}.$$

Согласно второму правилу Кирхгофа алгебраическая сумма падений напряжения в замкнутом контуре равна алгебраической сумме ЭДС.

$$-w_1 \frac{d\phi}{dt} - L_1 \frac{di}{dt} = R_{кр} i. \quad (18)$$

Разделив переменные и проинтегрировав получившееся уравнение, будем иметь следующее решение:

$$-w_1(\phi_2 - \phi_1) = R_{кр} \cdot q,$$

где  $q=i\tau$  – суммарный электрический заряд, прошедший по цепи (в том числе и через гальванометр) за время действия импульса тока длительностью  $\tau$ ,  $\phi_2-\phi_1$  – изменение магнитного потока за время  $\tau$ .

Отсюда можно узнать величину заряда,

$$q = \frac{w_1(\phi_2 - \phi_1)}{R_{kp}}. \quad (19)$$

Прохождение заряда  $q$  через гальванометр вызывает поворот рамки на угол  $\beta$ , пропорциональный заряду,

$$q = C_q^{kp} \beta. \quad (20)$$

Приравнявая выражения (19) и (20), получим для баллистической постоянной гальванометра в цепи, имеющей критическое сопротивление, следующую формулу:

$$C_q^{kp} = \frac{w_1(\phi_2 - \phi_1)}{R_{kp} \beta}. \quad (21)$$

Баллистические постоянные гальванометра  $C_q^{kp}$  и  $C_q^\infty$  отличаются друг от друга, так как каждая из них присуща определенным и не совместимым условиям работы гальванометра, в то же время они связаны между собой, так как это характеристики *одного* прибора. Доказывается во [2], формула (70), что

$$C_q^{kp} / C_q^\infty = e. \quad (22)$$

Как найти  $C_q^{kp}$  практически? Для этого собирается цепь, содержащая гальванометр и две индуктивно связанные катушки: одна – длинный однослойный соленоид  $L_0$ , вторая – короткая четырехсекционная катушка  $L_1$ , надетая поверх соленоида.

При прохождении тока  $I$  по соленоиду создается магнитное поле, напряженность которого на оси соленоида равна  $H$ , индукция  $B$  и магнитный поток  $\phi$

$$H = \frac{w_0 I}{l_0}, \quad B = \mu_0 \mu H, \quad \phi = BS_0,$$

где  $l_0, S_0$  – длина и площадь поперечного сечения соленоида.

Такой же магнитный поток пронизывает и вторую катушку  $L_1$ , обозначим его  $\phi_1$ . Если направление тока в соленоиде изменить на противоположное, то магнитный поток изменит знак  $\phi_2 = -BS_0$ .

Таким образом, изменение магнитного потока через вторую катушку равно

$$\phi_2 - \phi_1 = -2BS_0, \quad (23)$$

а после подстановки

$$\phi_2 - \phi_1 = -\frac{2\mu_0 \mu w_0 I S_0}{l_0}. \quad (24)$$

Выражение для баллистической постоянной (21) можно записать в виде:

$$C_q^{kp} = \frac{2\mu_0\mu w_0 w_1 S_0 I b}{R_{kp} l_0 n} \quad [\text{Кл}/(\text{мм}/\text{м})]. \quad (25)$$

Знак минус опущен, так как он определяет, в какую сторону повернется рамка гальванометра, но не влияет на величину угла поворота.

Величина

$$C_\phi = C_q^{kp} R_{kp} \quad [\text{Вб}/(\text{мм}/\text{м})] \quad (26)$$

называется *баллистической постоянной по магнитному потоку*.

**Измерения.** 1.Соберите электрическую цепь по схеме на рис.3, включив в нее в качестве катушки  $L_1$  одну из четырех секций, содержащую  $w_1$  витков. Демпфер  $\mathbf{B}_d$  при сборке как всегда должен быть замкнут.

2.Предложите преподавателю или лаборанту проверить собранную цепь.

3.Установите на магазине  $R_1$  критическое сопротивление.

4.Установите в цепи соленоида небольшой ток  $I$ , потом его, возможно, придется изменить.

5.Переводя переключатель  $\mathbf{\Pi}$  из одного положения в другое, измерьте максимальный баллистический отброс «зайчика»  $n$ . Это надо сделать при трех различных токах  $I$ . Результаты впишите в табл.4.

Таблица 4

$I$	$n$	$C_q^{kp}$	$C_\phi$

6.Вычислите  $C_q^{kp}$  и  $C_\phi$  по формулам (25), (26), найдите средние значения каждой из них и ширины доверительных интервалов по Стьюденту как для прямых измерений. Проверьте выполнение условия (22)

7.На основании результатов, полученных в упр. 1...5, сделайте сводную таблицу метрологических параметров исследованного гальванометра.

**Сводка метрологических параметров гальванометра М17, № .....**

Постоянная по току	$c_I$		A/(мм/м)
Постоянная по напряжению	$c_U$		B/(мм/м)
Внутреннее сопротивление	$r$		Ом
Критическое сопротивление	$R_{kp}$		Ом
Период колебания	$T_0$		с
Частота свободных колебаний	$\omega_0$		1/с
Баллистическая постоянная	$C_q^\infty$		Кл/(мм/м)
Баллистическая постоянная	$C_q^{kp}$		Кл/(мм/м)
Баллист.постоян. по магн. потоку	$C_\phi$		Вб/(мм/м)

## Упражнение 6

### Определение горизонтальной и вертикальной составляющих напряженности магнитного поля Земли

В предлагаемом ниже упражнении есть возможность применить всесторонне исследованный гальванометр для решения практической задачи – определения напряженности магнитного поля Земли, используя высокочувствительный гальванометр в баллистическом режиме. Идея опыта проста. Пусть в магнитном поле Земли находится замкнутый контур, в состав которого входит гальванометр. Если изменить ориентацию контура в пространстве так, чтобы магнитный поток через него тоже изменился, то в контуре возникнет ЭДС индукции и импульс индукционного тока приведет к отклонению указателя гальванометра.

Для проведения такого опыта берется катушка  $L_2$  на кольцевом каркасе, находящаяся на вращающейся подставке. Вектор напряженности магнитного поля Земли расположен в плоскости магнитного меридиана под углом  $\varphi$  к горизонту (рис.4), где  $\varphi$  – магнитное склонение (в нашей местности можно принять приблизительно равным географической широте) [6].

Если катушку поворачивать, например, вокруг оси  $z$ , то поток вектора  $H_2$  через площадь, охваченную контуром, будет изменяться, что приведет к возникновению ЭДС индукции, равную, в соответствии с законом Фарадея,  $E=d\phi/dt$ .

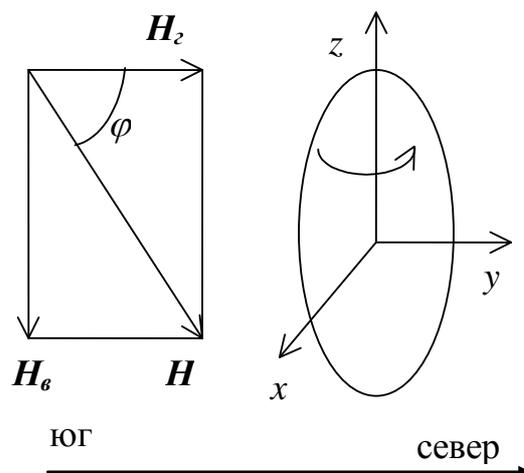


Рис.4

**Измерения.** 1.Замкните демпфер  $B_d$ .

Соберите электрическую цепь по схеме (рис.5). Кольцевую катушку присоедините к остальным элементам цепи длинными (около 1,5 м) *переплетенными* между собой проводами с целью уменьшения в них паразитных наводок, ЭДС индукции должна наводиться, по нашему замыслу, только в кольцевой катушке  $L_2$ .

2.Установите на магазине  $R_1$  сопротивление

$$R_1 = R_{кр} - (r + r_2).$$

3.Определите по компасу плоскость магнитного меридиана S–N и поставьте плоскость кольцевой катушки перпендикулярно этому направлению.

4.Разомкните демпфер. Поверните катушку вокруг вертикальной оси на  $180^\circ$ , наблюдайте

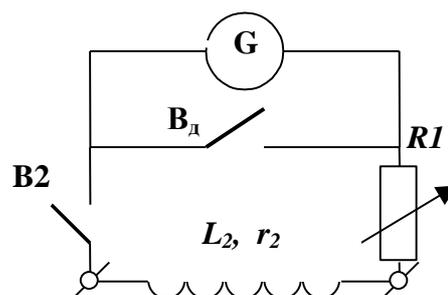


Рис.5

отклонение «зайчика» на шкале. Этот опыт надо проделать не менее пяти раз, замечая каждый раз максимальный баллистический отброс. Постарайтесь поворачивать катушку настолько быстро, чтобы длительность поворота была меньше периода свободных колебаний рамки гальванометра, что связано с необходимым условием кратковременности импульса тока в цепи. Результаты измерений внесите в табл.5.

5.Проведите аналогичные измерения при вращении катушки вокруг горизонтальной оси, установив ее предварительно горизонтально.

6.Измерьте диаметр катушки, это понадобится для вычисления ее площади  $S_2$ , и спишите число витков  $w_2$  той секции, которая была включена в цепь.

**Обработка результатов** состоит в вычислении горизонтальной и вертикальной составляющих напряженности поля Земли по формуле

$$H = \frac{C_\phi n}{2\mu_0 \mu w_2 S_2 b} \quad [\text{А/м}]. \quad (27)$$

Таблица 5

Вращение вокруг <i>вертикальной</i> оси				Вращение вокруг <i>горизонтальной</i> оси			
$n_1$	$H_2$	$\bar{H}_2 - H_i$	$(\bar{H}_2 - H_i)^2$	$n_2$	$H_6$	$\bar{H}_6 - H_i$	$(\bar{H}_6 - H_i)^2$

По средним значениям  $H_2$  и  $H_6$  вычислите полную напряженность магнитного поля Земли и сравните ее со значением, найденным в литературе.

Список рекомендуемой литературы

- 1.Курс электрических измерений. /Под ред. В.Г.Прыткова, А.В.Талицкого. М.-Л.: Гос. энергетич. изд., 1960. Ч.1, гл. 5.
- 2.Оборудование электрической лаборатории. Изд. Перм. ун-та, 1976. §15-16.
- 3.Руководство к лабораторным занятиям по физике./Под ред. Л.Л.Гольдина. М.: Наука, 1973. С.274.
- 4.Сивухин Д.В. Общий курс физики. М.: Наука, 1977. Т.3, с.556.
- 5.Кортнев А.В., Рублев Ю.В., Куценко А.Н. Практикум по физике. М.: Высшая школа, 1963. С.232.
- 6.Элементарный учебник физики. /Под ред. Г.С.Ландсберга. М.: Наука, 1971. Т.2, с.334.