

**Специализированный учебно-научный центр -
факультет МГУ им. М.В. Ломоносова,
Школа имени А.Н. Колмогорова
Кафедра физики**

Общий физический практикум

Лабораторная работа № 3.9

**Измерение емкости конденсатора
баллистическим гальванометром**

Составитель Т.П. Корнеева

Измерение емкости конденсатора баллистическим гальванометром

Цель работы:

1. Ознакомление с работой гальванометра в баллистическом режиме. Построение градуировочной кривой.
2. Измерение емкости конденсаторов и соединений конденсаторов.

Приборы и оборудование:

Гальванометр магнитоэлектрической системы, батарея конденсаторов известной емкости, источник постоянного напряжения, потенциометр, вольтметр, конденсаторы неизвестной емкости, кнопочный переключатель.

Теоретическое введение.

Баллистическим гальванометром называют электроизмерительный прибор магнитоэлектрической системы, отличающийся высокой чувствительностью к току и сравнительно большим периодом колебаний подвижной системы.

Баллистическим гальванометром можно измерять как постоянный ток (стационарный режим), так и прошедший через рамку за небольшое время электрический заряд (баллистический режим). Такой прибор имеет ряд конструктивных особенностей, однако и обычный гальванометр магнитоэлектрической системы может работать в баллистическом режиме. Баллистический режим работы гальванометра возможен, если время, в течение которого через него протекает токовый импульс, оказывается во много раз меньше периода собственных колебаний подвижной рамки гальванометра. В данной работе исследуется именно этот режим.

В гальванометре магнитоэлектрической системы рамка с измеряемым током I взаимодействует с магнитным полем постоянного магнита. При этом на рамку действует вращающий момент M_1

$$M_1 = IB S,$$

где S - суммарная площадь витков рамки, B - индукция магнитного поля.

(Благодаря специальной конфигурации магнитного поля момент M_1 не зависит от угла поворота рамки).

При повороте рамки на неё действует возвращающий момент со стороны спиральных пружин

$$M_2 = - k\alpha,$$

где k — жесткость пружин, α — угол поворота рамки.

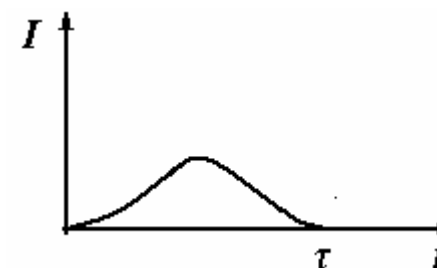
Благодаря действию спиральных пружин подвижная система гальванометра (рамка, стрелка, противовесы) представляет собой упругую систему, период колебаний которой равен

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J}{k}},$$

где J - момент инерции подвижной системы гальванометра.

В дальнейшем для краткости будем называть подвижную систему гальванометра "рамкой".

Пусть через гальванометр прошел импульс тока $I(t)$ в течение времени τ :



При этом прошедший через рамку заряд равен $q = \int_0^{\tau} I(t) dt$.

Если время протекания тока $\tau \ll T$, то гальванометр может работать в баллистическом режиме. При этом условия угол отклонения рамки от положения равновесия за время τ будет очень мал, поэтому возвращающий момент со стороны пружин практически отсутствует. Значит, в течение времени τ рамка будет двигаться только под действием сил со стороны магнитного поля. Уравнение вращательного движения рамки имеет при этом вид:

$$J \frac{d\omega}{dt} = B \cdot S \cdot I, \quad (*)$$

где ω — угловая скорость рамки.

В конце промежутка времени τ рамка будет иметь угловую скорость ω_0 , которую можно найти, проинтегрировав уравнение (*):

$$\omega_0 = \omega(\tau) = \int_0^{\tau} \frac{B \cdot S}{J} I(t) dt = \frac{B \cdot S}{J} q.$$

При дальнейшем движении рамки на неё будет действовать только возвращающий момент M_2 , и кинетическая энергия рамки будет переходить в потенциальную энергию пружин.

Максимальный угол, на который отклонится рамка, можно найти из условия, что кинетическая энергия полностью перешла в потенциальную:

$$\frac{J\omega_0^2}{2} = \frac{k\alpha_{\max}^2}{2}.$$

Отсюда

$$\alpha_{\max} = \omega_0 \sqrt{\frac{J}{k}} = \frac{B \times S \times T}{2\pi J} q.$$

Таким образом, при работе в баллистическом режиме отброс стрелки гальванометра прямо пропорционален прошедшему через него заряду, т.е. можно записать

$$q = b \alpha_{\max},$$

где b — баллистическая постоянная гальванометра.

Приведенные рассуждения полностью применимы к случаю, когда импульс тока вызван разрядом конденсатора через гальванометр, что и используется в данной работе.

Экспериментальная часть.

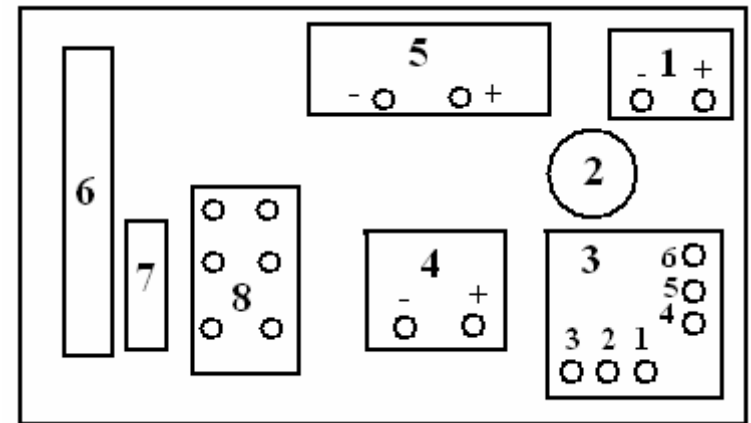


Схема расположения приборов на панели экспериментальной установки.

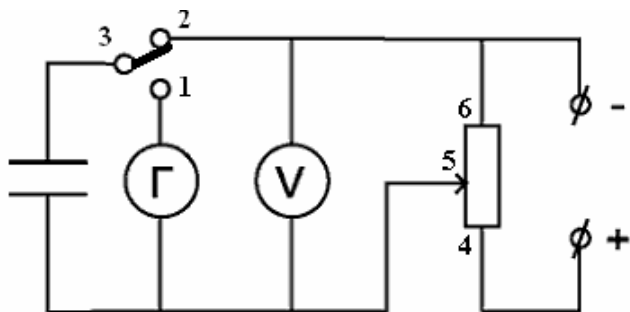
- 1 – источник постоянного (выпрямленного) напряжения;
- 2 – потенциометр;
- 3 – панель с клеммами потенциометра (4,5,6) и кнопочного переключателя (1,2,3);
- 4 – вольтметр;
- 5 – гальванометр (красные клеммы);
- 6 – батарея эталонных конденсаторов;

7 – конденсаторы неизвестной емкости;
 8 – панель с клеммами для подключения конденсаторов неизвестной емкости.

Задание 1.

Построение градуировочной кривой гальванометра

1. Соберите схему, используя эталонный конденсатор.



Включайте источник только после проверки схемы преподавателем!

2. Выберите значение C_1 ёмкости эталонного конденсатора, установите с помощью потенциометра значение напряжения U_1 (начните с небольших значений) и подождите некоторое время (~ 5 с), пока заряжается конденсатор. Потом нажмите кнопку переключателя (при этом соединяются контакты 1 и 3) и измерьте угол α_{\max} .

Так как гальванометр магнитоэлектрической системы имеет равномерную шкалу, то угол поворота рамки измеряют в делениях шкалы по отклонению стрелки.

Вычислите заряд на конденсаторе $q_1 = C_1 \cdot U_1$ и занесите все величины в таблицу.

	C	U	q	α_{\max}
	мкФ	В	мкКл	дел.
1				
2				
...				

При том же значении емкости C_1 повторите измерения с двумя новыми значениями напряжения.

Повторите все измерения при значениях ёмкости эталонного конденсатора C_2 и C_3 .

При оценке погрешности измерений учтите, что для эталонного конденсатора $\epsilon_c = 5\%$, для вольтметра $\Delta U = 0,2$ В, для гальванометра $\Delta \alpha = 0,5$ дел.

3. Выбрав подходящий масштаб, постройте градуировочную кривую гальванометра $q(\alpha_{\max})$.

По полученному графику проанализируйте способность гальванометра к работе в баллистическом режиме.

Найдите из графика баллистическую постоянную прибора b и оцените её погрешность.

Задание 2.

Измерение ёмкости конденсатора и соединений конденсаторов

1. Вместо эталонного конденсатора поочередно включайте в схему конденсаторы C_1, C_2, C_3 .

Во избежание порчи гальванометра начинайте измерения с небольших значений напряжения, увеличивая напряжение по мере необходимости. Для большей точности измерений желательно, чтобы стрелка гальванометра отклонялась не менее, чем на 6 делений.

Для каждого конденсатора проведите измерения при трех значениях напряжения.

Используя полученное ранее значение баллистической постоянной b , вычислите значение ёмкости конденсатора, исходя из формулы

$$C = \frac{b \cdot \alpha_{\max}}{U}.$$

Оцените экспериментальную ошибку полученных величин.

2. Измерьте ёмкость параллельно соединённых конденсаторов $C_1 \parallel C_2$, $C_2 \parallel C_3$, $C_3 \parallel C_1$, и сравните измеренные значения с теми, которые получаются в результате вычислений по известным формулам с учетом экспериментальной ошибки.

3. Измерьте ёмкость двух последовательно соединённых конденсаторов.

Сделайте выводы о проделанной работе.

Вопросы для получения допуска к выполнению лабораторной работы.

1. Сформулируйте цель работы.
2. Какие задания Вы будете выполнять в данной работе, в какой последовательности, и какие приборы будут Вами использованы для выполнения каждого из этих заданий?
3. Какие физические величины Вы будете измерять в данной работе непосредственно?
4. В какой форме Вы будете представлять результаты Вашей работы?
5. Какой вид должна иметь градуировочная кривая для гальванометра, работающего в баллистическом режиме?

Вопросы к защите результатов лабораторной работы.

1. Какие выводы Вы сделали по результатам проделанной Вами работы?
2. Что называется баллистическим режимом работы гальванометра? Как узнать, что гальванометр работает в баллистическом режиме?
3. Что такое баллистическая постоянная гальванометра?
4. Как найти ошибку найденной Вами баллистической постоянной?
5. Как использовалась Вами градуировочная кривая при измерениях ёмкости конденсаторов?
6. Какие конструктивные особенности гальванометра магнитоэлектрической системы приводят к тому, что действующий на рамку со стороны магнитного поля вращающий момент сил не зависит от угла поворота рамки?
7. Какими конструктивными особенностями должен обладать гальванометр, предназначенный для работы *только* в баллистическом режиме (баллистический гальванометр)?
8. Что такое ёмкость конденсатора? В каких единицах измеряется ёмкость конденсатора?
9. Выведите формулы для вычисления ёмкости параллельно и последовательно соединённых конденсаторов.
10. Какие виды конденсаторов Вы знаете?
11. Для чего применяют конденсаторы?

Рекомендуемая литература

1. Г.Я. Мякишев, А.З. Синяков
«**ФИЗИКА 10-11. Электродинамика**»
«Дрофа», 2002г.
2. Лабораторная работа физического практикума 3.1
«**Изучение приборов магнитоэлектрической системы**»