

ИЗУЧЕНИЕ БАЛЛИСТИЧЕСКОГО ГАЛЬВАНОМЕТРА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕИЗВЕСТНОЙ ЕМКОСТИ

**Методические указания
для проведения лабораторных работ**

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Физический факультет

ИЗУЧЕНИЕ БАЛЛИСТИЧЕСКОГО ГАЛЬВАНОМЕТРА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕИЗВЕСТНОЙ ЕМКОСТИ

**Методические указания
для проведения лабораторных работ**

Томск
Издательство Томского государственного университета
2022

РАССМОТРЕНО И УТВЕРЖДЕНО учебно-методическим советом
кафедры общей и экспериментальной физики физического факультета

Протокол № 13/22 от «11» июля 2022 г.

Председатель учебно-методического совета

В.П. Демкин

**Изучение баллистического гальванометра и определение
неизвестной емкости** : методические указания для выполнения
лабораторных работ / сост. А.И. Потекаев. – Томск :
Издательство Томского государственного университета, 2022. –
14 с.

В методических указаниях рассмотрен принцип действия баллистического гальванометра. Приводится физическая основа этого принципа.

Приведены используемые в работе базовые физические понятия (емкость проводника, конденсаторы, емкость конденсаторов) и физические основы применяемого устройства (баллистического гальванометра).

Приводится методика определения неизвестной емкости конденсатора с помощью баллистического гальванометра.

Изложена методика выполнения лабораторной работы.

Методические указания разработаны для студентов физических специальностей (физического, радиофизического и физико-технического факультетов) дневной формы.

СОСТАВИТЕЛЬ: *проф. А.И. Потекаев*

РЕЦЕНЗЕНТ: *доц. А.Н. Александров*

© Потекаев А.И., 2022

© Томский государственный университет, 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЕМКОСТЬ ПРОВОДНИКА	5
1.1. Емкость проводника.....	5
1.3. Баллистический гальванометр	7
1.4. Определение неизвестной емкости конденсатора с помощью баллистического гальванометра	9
2. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ	11
2.1. Электрическая схема.....	11
2.2. Измерение неизвестной емкости.....	11
3. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	14
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	14

ИЗУЧЕНИЕ БАЛЛИСТИЧЕСКОГО ГАЛЬВАНОМЕТРА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕИЗВЕСТНОЙ ЕМКОСТИ

Цель работы:

1. Изучение баллистического гальванометра
2. Определение неизвестной емкости конденсатора с помощью баллистического гальванометра.

Приборы и принадлежности: 1. Баллистический гальванометр. 2. Эталонный и исследуемый конденсаторы. 3. Переменное сопротивление. 4. Переключатель. 5. Двойной ключ. 6. Источник постоянного тока.

Порядок теоретической подготовки к выполнению работы:

Изучить теоретический материал и законспектировать в тетрадь ответы на контрольные вопросы

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЕМКОСТЬ ПРОВОДНИКА

1.1. Емкость проводника

Если заряженному уединенному проводнику сообщать разные порции зарядов, то они будут распределяться по проводнику подобным образом. Следовательно, *потенциал уединенного проводника ПРОПОРЦИОНАЛЕН находящемуся на нем заряду*. Увеличение в несколько раз заряда приводит к увеличению в то же число раз напряженности поля в каждой точке окружающего проводнике пространства. Соответственно, в то же число раз возрастет и потенциал проводника.

Таким образом, для уединенного проводника можно записать:

$$q = C\varphi, \quad (1)$$

где q – заряд, а φ – потенциал проводника. Коэффициент пропорциональности C между потенциалом и зарядом называется *электроемкостью* или просто *емкостью* проводника.

Из выражения (1) следует:

$$C = \frac{q}{\varphi}. \quad (2)$$

Таким образом, *электроемкость численно равна заряду, добавление которого проводнику повышает потенциал проводника на единицу*. За единицу емкости принимается емкость такого проводника, потенциал которого изменяется на 1 в при сообщении ему заряда в 1 к. Эта *единица емкости называется фарадой* (ϕ).

Электроемкость зависит от формы и размеров проводника, а также от диэлектрической проницаемости, окружающей проводник среды и распределения проводника в пространстве. Для зарядки разных по форме проводников до одинакового значения потенциала φ им необходимо сообщить различные по величине заряды.

Таким образом, электроемкость зависит от формы внешней поверхности проводника, от его линейных размеров, от расположения проводника относительно других проводников и от величины диэлектрической проницаемости, окружающей проводник среды ϵ .

1.2. Конденсаторы. Емкость конденсаторов

Уединенные проводники обладают небольшой емкостью. Однако электроемкость проводника можно очень сильно увеличить, если приблизить к нему другой проводник или диэлектрик. Это связано с тем, что под действием поля, создаваемого заряженным проводником на поднесенном к нему теле, возникают индуцированные заряды. Причем индуцированные заряды противоположны по знаку заряду проводника. Эти индуцированные заряды противоположного знака располагаются ближе к проводнику и, следовательно, оказывают большое влияние на потенциал самого проводника. Данное влияние сводится к уменьшению потенциала проводника по абсолютной величине, что и приводит к увеличению электроемкости проводника. Данный физический подход и положен в основу конструкции специальных устройств, называемых конденсаторами.

Таким образом, устройства, способные при небольшом относительно окружающих тел потенциале, накапливать на себе большие заряды, называются конденсаторами.

Конденсаторы конструируются в виде двух проводников, расположенных близко друг к другу. Образующие конденсатор проводники называются обкладками конденсатора. Чтобы внешние тела не влияли на емкость конденсатора обкладкам придают такую форму и так располагают их по отношению друг к другу, чтобы создаваемое накапливаемыми на обкладках зарядами поле было сосредоточено внутри конденсатора. Этому условию удовлетворяют две пластины, расположенные близко друг к другу; два коаксиальных цилиндра; две концентрические сферы. Соответственно, бывают плоские, цилиндрические и сферические конденсаторы.

Основной характеристикой конденсатора является его электроемкость. Емкость конденсатора прямо пропорциональна заряду и обратно пропорциональна разности потенциалов между обкладками:

$$C = \frac{q}{(\varphi_1 - \varphi_2)}. \quad (3)$$

Разность потенциалов между обкладками конденсатора называется напряжением между соответствующими точками, которую принято обозначать как $U = \varphi_1 - \varphi_2$.

Следовательно,

$$C = \frac{q}{U}. \quad (4)$$

Величина емкости определяется геометрией конденсатора, а также диэлектрическими свойствами среды, заполняющей пространство между обкладками.

1.3. Баллистический гальванометр

Гальванометры – электроизмерительные приборы с высокой чувствительностью к току и напряжению. Баллистический гальванометр отличается от обычного гальванометра магнитоэлектрической системы тем, что подвижная его часть делается более массивной и обладает большим моментом инерции. Баллистический гальванометр предназначен для измерения количества электричества, проходящего через цепь при кратковременных импульсах тока. Фактически, баллистический гальванометр предназначен для измерения количества электричества, протекающего через рамку за время, значительно меньшее периода ее собственных колебаний.

Подвижной частью прибора является прямоугольная рамка с обмоткой из тонкого изолированного проводника (проволоки), подвешенная на нити между полюсами магнита. В этом положении она может совершать крутильные колебания относительно вертикальной оси. Вращательное движение рамки происходит в общем случае под действием трех моментов сил:

- момент сил Ампера, действующий на рамку в магнитном поле, когда проходит импульс тока

$$M_1 = BNSI,$$

где B – индукция магнитного поля, N – число витков, S – площадь витка, I – сила тока;

- момент сил кручения нити, который пропорционален угловому отклонению α и направлен к положению равновесия

$$M_2 = -D\alpha;$$

- тормозящий момент, обусловленный явлением электромагнитной индукции и сопротивлением воздуха

$$M_3 = -P \frac{d\alpha}{dt}.$$

Следовательно, уравнение вращательного движения рамки относительно вертикальной оси имеет вид:

$$K \frac{d^2\alpha}{dt^2} = \sum M_i = BNSI - D\alpha - P \frac{d\alpha}{dt}, \quad (5)$$

где K – момент инерции рамки.

В баллистическом гальванометре момент инерции рамки выбирается большим, чтобы период ее собственных колебаний был не меньше 10 секунд. В этом случае во время прохождения через гальванометр кратковременного импульса тока I , длительность которого τ много меньше периода собственных колебаний, в уравнении (5) можно пренебречь вторым и третьим моментами сил, т.е. кроме M_1 . В результате получаем уравнение

$$K \frac{d\omega}{dt} = BNSI, \quad (6)$$

где $\omega = \frac{d\alpha}{dt}$ - угловая скорость вращения рамки.

Интегрируя (6) по времени прохождения импульса, найдем угловую скорость рамки ω_τ , которую она приобретает за это время

$$K\omega_\tau = BNSq. \quad (7)$$

При этом рамка обладает кинетической энергией

$$E_K \frac{K\omega_\tau^2}{2}. \quad (8)$$

Вся эта энергия затрачивается на закручивание подвеса на максимальный угол α_m

$$E_n \int_0^{\alpha_m} D\alpha d\alpha = \frac{D\alpha_m^2}{2}. \quad (9)$$

Приравняв (8) и (9), при учете (7) получаем:

$$\alpha_m^2 = K \frac{(BNS)^2}{KD} q^2,$$

Что можно переписать в виде

$$q = A\alpha_m, \quad (10)$$

где $A = A\sqrt{KD(BNS)^{-1}} = \text{const}$ – баллистическая постоянная гальванометра. Она определяется экспериментально. Для этого достаточно разрядить через гальванометр, заряженный до определенного потенциала конденсатор известной емкости. После такой градуировки формулой (10) можно пользоваться для количественных измерений.

Если стрелку прибора заменить легким зеркальцем из тонкого стекла, прикрепленным к нити подвеса, то такие гальванометры называются зеркальными (в отличие от стрелочных). Для снятия показаний применяется метод зеркала и шкалы. Так как угол поворота, отраженного луча вдвое больше угла поворота зеркальца, то чувствительность такого прибора повышается вдвое. Луч играет роль стрелки большой длины, при этом шкала расположена на большом расстоянии от гальванометра, что позволяет увеличить точность измерений (отсчета). Конструкция гальванометра и осветителя к нему рассчитана на установку гальванометра как в горизонтальной, так и вертикальной плоскостях. В данной работе применяется вертикальная установка гальванометра.

1.4. Определение неизвестной емкости конденсатора с помощью баллистического гальванометра

Измерение емкости конденсатора с помощью баллистического гальванометра может быть произведено несколькими принципиально различными способами. В данной работе в основу измерения емкости положено электростатическое соотношение (4) между зарядом конденсатора, его емкостью и напряжением.

Если применить это соотношение к двум конденсаторам (один из них выступает в качестве эталона), заряженным до одного и того же напряжения, то

$$C_x = C_{\text{эт}} \frac{q_x}{q_{\text{эт}}}, \quad (11)$$

где C_x, q_x — неизвестная емкость и заряд исследуемого конденсатора;

$C_{\text{эт}}, q_{\text{эт}}$ — емкость и заряд эталонного конденсатора.

В данной работе определение зарядов выполняется баллистическим методом.

2. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

2.1 Электрическая схема

Собрать электрическую схему, представленную на рисунке 2.

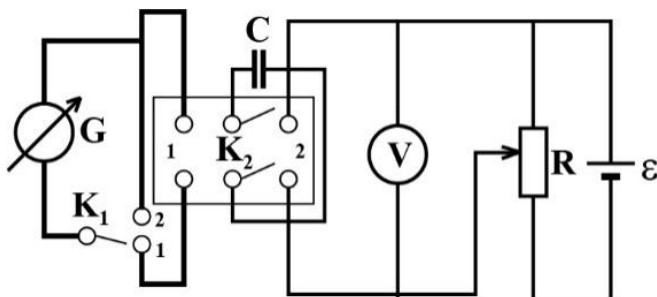


Рис. 1. Электрическая схема

На рисунке 1 изображены: C – исследуемый или эталонный конденсатор; R – переменное сопротивление; K_1 – переключатель; K_2 – двойной ключ; $\mathcal{E}$ – источник постоянного тока. Конденсатор C заряжается от источника, если двойной ключ K_2 замкнуть на клеммы в положении 2. При замыкании ключей K_1 и K_2 на клеммы 1 происходит разрядка конденсаторов через гальванометр.

2.2. Измерение неизвестной емкости

1. Включить в схему эталонный конденсатор с емкостью

$$C_{\text{эт}} = 1 \text{ мкФ.}$$

2. Движком переменного сопротивления R установить на вольтметре подаваемое напряжение (порядка 0.1 В). В процессе измерений напряжение контролируется вольтметром и поддерживается для эталонной и неизвестной емкости строго постоянным.
3. Ключ K_2 замыкается в положение 2. При этом происходит зарядка эталонного конденсатора.

4. Ключ K_1 замкнуть в положение 1, снять отсчет n_0 по шкале гальванометра и занести в таблицу.
5. Быстро переключить ключ K_2 в положение 1 (эталонный конденсатор разряжается через баллистический гальванометр), снять отсчет $n_{эм}$ по шкале гальванометра и занести в таблицу. При этом в соответствии с формулой (10) имеем:

$$q_{эм} = \frac{A(n_{эм} - n_0)}{2l}, \quad (12)$$

поскольку в данном случае $\alpha_m = \frac{n_{эм} - n_0}{2l}$, где l – расстояние от зеркала до шкалы (угол поворота отраженного луча в два раза больше угла поворота зеркала).

После того, как по баллистическому гальванометру сделан отсчет, необходимо подождать пока катушка гальванометра успокоится (перестанет совершать колебания около положения равновесия). Этот процесс можно ускорить, замыкая гальванометр накоротко (ключ K_1 в позиции 2) каждый раз, когда после отсчета световой указатель проходит через деление шкалы n_0 .

6. Для оценки случайной погрешности провести измерения несколько раз. Результаты занести в таблицу. Определить среднее значение величины $(n_{эм} - n_0)$.
7. Включить в схему вместо эталонного конденсатора конденсатор с неизвестной емкостью и проделать все пункты 3-7 уже для неизвестной емкости:

$$q_x = \frac{A(n_x - n_0)}{2l}. \quad (13)$$

8. Определить среднее значение неизвестной емкости, подставив выражения (12) и (13) в (4):

$$< C_x > = C_{эм} \frac{< n_x - n_0 >}{< n_{эм} - n_0 >}. \quad (14)$$

9. Занести полученные результаты в таблицу.

10. Все измерения провести для двух конденсаторов с неизвестными емкостями, а также определить их емкость при параллельном и последовательном соединении.
11. Рассчитать теоретическое значение емкости при параллельном и последовательном соединении исследуемых конденсаторов. Сравнить в пределах погрешности измерений теоретические и экспериментально полученные значения.

Таблица

Результаты измерений и вычислений

n_0	$n_{\text{эм}}$	$n_{\text{эм}} - n_0$	$\langle n_{\text{эм}} - n_0 \rangle$	n_x	$n_x - n_0$	$\langle n_x - n_0 \rangle$	C_x	$\langle C_x \rangle$

3. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дать определение электроемкости проводника.
2. В каких единицах измеряется электроемкость в системе СИ?
3. Что такое конденсатор?
4. Чему равна электроемкость конденсатора?
5. Что такое зеркальный баллистический гальванометр?
6. Объясните устройство и принцип действия баллистического гальванометра.
7. Какая электрическая величина измеряется с помощью баллистического гальванометра?
8. Получить зависимость величины заряда, прошедшего через гальванометр в результате кратковременного импульса тока, от угла поворота зеркала.
9. В чем заключается методика определения неизвестной емкости с помощью баллистического гальванометра?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савельев И.В. Курс общей физики: в 3 т. / И. В. Савельев; М. : Наука, 1986. Т. 2: Электричество. 442с. и последующие издания.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики: в 5 т. / Д. В. Сивухин; М. : Наука, 1985. Т.3: Электричество. 703с. и последующие издания.

Издание подготовлено в авторской редакции

Подписано в печать 25.07.2022 г.

Отпечатано на участке цифровой печати
Издательства Томского государственного университета
634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, тел. (3822) 529-849.

E-mail: rio.tsu@mail.ru

Заказ № 5104 от «25» июля 2022 г. Тираж 30 экз.

