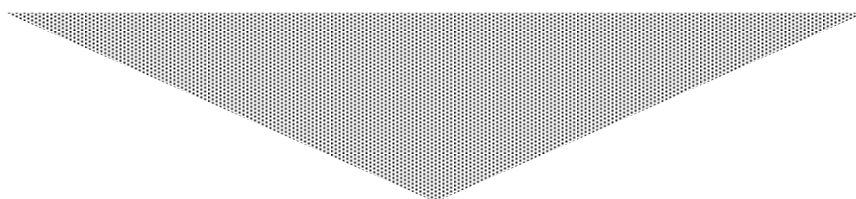


Министерство образования и науки Российской Федерации

ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»



ЭЛЕКТРОСТАТИКА

Рабочая тетрадь
для лабораторных работ

студента _____
Ф.И.О.

группа _____



Тамбов
• Издательство ТГТУ •
2009

УДК 535
ББК В343я73-5
Б907

Р е ц е н з е н т

Доктор технических наук, профессор
кафедры «Автоматизированные системы и приборы» ТГТУ

Д.М. Мордасов

С о с т а в и т е л и:

Н.А. Булгаков, В.Б. Вязовов, О.С. Дмитриев, О.В. Исаева

Б907 Электростатика: рабочая тетрадь для лабораторных работ / сост. : Н.А. Булгаков, В.Б. Вязовов, О.С. Дмитриев, О.В. Исаева. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. – 12 с. – 200 экз.

Представлены методические указания по выполнению лабораторной работы раздела «Электростатика» курса общей физики. Дано описание лабораторной установки, теоретическое обоснование соответствующих методов экспериментального решения поставленных задач, методика обработки полученных результатов, контрольные вопросы, практическая (расчетная) часть к лабораторной работе и список рекомендуемой литературы.

Лабораторная работа в форме рабочей тетради предназначена для выполнения студентами 1 курса всех специальностей и форм обучения инженерного профиля.

УДК 535
ББК В343я73-5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕМКОСТИ КОНДЕНСАТОРА МЕТОДОМ БАЛЛИСТИЧЕСКОГО ГАЛЬВАНОМЕТРА

Цель работы: ознакомиться с принципом определения емкости конденсатора методом баллистического гальванометра, экспериментально проверить формулы, выражающие емкость конденсаторов при последовательном и параллельном соединении.

Приборы и принадлежности: установка для измерения емкости конденсатора, баллистический гальванометр, батарейка.

Краткая теория и методические указания

Плоским конденсатором называется система, состоящая из двух одинаковых параллельных металлических пластин, расположенных на близком (по сравнению с их линейными размерами) расстоянии одна от другой. Между пластинами находится диэлектрик (при его отсутствии конденсатор называется воздушным, или вакуумным). На пластинах (обкладках) заряженного конденсатора появляются одинаковые по модулю, противоположные по знаку заряды. Электрическое поле в этом случае локализуется внутри конденсатора, а краевыми эффектами можно пренебречь.

Емкостью конденсатора C называется физическая величина, являющаяся коэффициентом пропорциональности между взятыми по модулю зарядом одной из пластин и напряжением между ними:

$$q = CU.$$

В системе СИ емкость измеряется в фарадах.

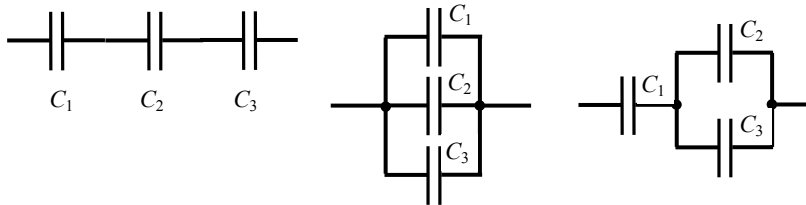
Для плоского конденсатора формула емкости имеет вид:

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d},$$

где ϵ_0 – электрическая постоянная ($\approx 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м); ϵ – диэлектрическая проницаемость диэлектрика; S – площадь пластины; d – расстояние между пластинами.

Соединения конденсаторов бывают:

- 1) *последовательными*; 2) *параллельными*; 3) *смешанными*.



Разумеется, число конденсаторов в батареях может быть и другим.

При последовательном соединении конденсаторов заряды на обкладках одинаковые ($q_1 = q_2 = q_3 = q$), общее напряжение равно сумме напряжений ($U_{\text{общ}} = U_1 + U_2 + U_3$), а емкость всей батареи рассчитывается по формуле:

$$\frac{1}{C_{\text{общ}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}. \quad (1)$$

При параллельном соединении конденсаторов заряд на обкладках батареи равен сумме зарядов ($q_{\text{общ}} = q_1 + q_2 + q_3$), напряжения одинаковые ($U_1 = U_2 = U_3 = U$), а емкость всей батареи рассчитывается по формуле:

$$C_{\text{общ}} = C_1 + C_2 + C_3. \quad (2)$$

Вот эти две формулы (1) и (2) для случая двух конденсаторов и подлежат экспериментальной проверке в данной работе. Чтобы осуществить проверку, нужно измерить отдельно емкость каждого конденсатора, а затем, измерив емкости батарей при последовательном и параллельном соединении конденсаторов, убедиться в справедливости формул.

Для измерения емкости конденсатора существуют различные способы. Можно, например, включить конденсатор в колебательный контур и, зная величину индуктивности и измеряя резонансную частоту, рассчитать величину емкости. В данной работе используется метод баллистического гальванометра – прибора, измеряющего протекающий через него заряд. Всякое измерение есть сравнение одной величины с другой (нужно только определиться, по какому признаку сравнивать). А идея очень простая: есть конденсатор с известной емкостью C_0 и конденсатор с неизвестной емкостью C . Заряжая их до одного и того же напряжения и разряжая потом через баллистический гальванометр, можно измерить заряды обоих конденсаторов и легко рассчитать величину C :

$$q = CU; \quad q_0 = C_0U; \quad C = C_0 \frac{q}{q_0}.$$

Особенность конструкции баллистического гальванометра состоит в том, что его рамка, получив толчок от кратковременного протекания тока, отклоняется на некоторый угол α , величина которого связана с протекающим зарядом.

Световой зайчик, отраженный от зеркала, укрепленного на рамке, высвечивает на шкале гальванометра число делений, прямо пропорциональное протекающему заряду:

$$q = kn,$$

где k – коэффициент пропорциональности (постоянная гальванометра).

Таким образом, измеряя отброс зайчика n_0 на шкале гальванометра для конденсатора с известной емкостью C_0 (значение этой величины указано на установке) и отброс зайчика n для конденсатора с неизвестной емкостью C , можно рассчитать величину C :

$$C = C_0 \frac{n}{n_0}. \quad (3)$$

Принципиальная схема установки представлена на рис. 1.

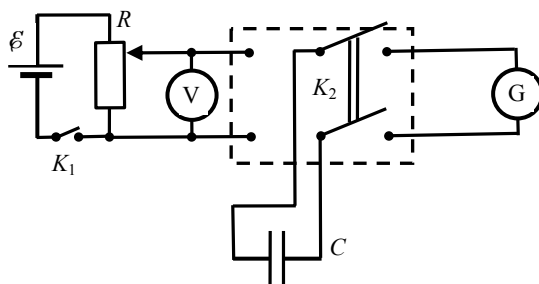


Рис. 1

При замыкании ключа K_1 напряжение U , снимаемое с потенциометра R , подается на левые клеммы двойного ключа K_2 . Вольтметр V лишь фиксирует наличие напряжения. К правым клеммам этого ключа подсоединен баллистический гальванометр G . Эталонный и исследуемый конденсаторы поочередно подключаются на средние клеммы ключа. При перекидывании ключа K_2 влево конденсатор заряжается до напряжения U , а затем, при перекидывании ключа K_2 вправо конденсатор разряжается через баллистический гальванометр.

Баллистический гальванометр представляет собой разновидность гальванометра магнитоэлектрической системы и отличается тем, что момент инерции его подвижной системы искусственно увеличен.

Порядок выполнения работы

1. Включите в розетку сети 220 В штепсель питания осветителя гальванометра, убедитесь в положении светового зайчика на нулевом делении шкалы прибора.
2. Подсоедините батарейку в качестве источника ЭДС к соответствующим клеммам установки и замкните ключ K_1 . Вольтметр V должен показать наличие напряжения.
3. Соедините конденсаторы C_1 и C_2 параллельно и подключите их к средним клеммам ключа K_2 .
4. Зарядите конденсаторы, переведя ключ K_2 в левое положение.
5. Разрядите конденсаторы на баллистический гальванометр, переведя ключ K_2 в правое положение, и зафиксируйте максимальное отклонение светового зайчика.
6. С помощью потенциометра R установите такое напряжение, чтобы отклонение зайчика при параллельном соединении конденсаторов было наибольшим («на всю шкалу»). Установленное напряжение во всех дальнейших опытах остается постоянным.
7. Проведите 5 опытов с *параллельно* соединенными конденсаторами и результаты занесите в табл. 1.

1. Расчет данных (параллельное соединение)

№ п/п	n_i , дел.	$n_{\text{ср}}$	Δn_i	Δn_i^2	S_p	Δn	$E, \%$
1							
...							

8. Соедините конденсаторы C_1 и C_2 *последовательно* и подключите их к средним клеммам ключа K_2 . Проведите 5 опытов с последовательно соединенными конденсаторами и результаты занесите в табл. 2.

2. Расчет данных (последовательное соединение)

№ п/п	n_i , дел.	$n_{\text{ср}}$	Δn_i	Δn_i^2	S_p	Δn	$E, \%$
1							
...							

9. Подключите конденсатор C_1 к средним клеммам ключа K_2 . Проведите 5 опытов и результаты занесите в табл. 3.

3. Расчет данных (C_1)

№ п/п	n_i , дел.	$n_{\text{ср}}$	Δn_i	Δn_i^2	S_p	Δn	E , %
1							
...							

10. Подключите конденсатор C_2 к средним клеммам ключа K_2 . Проведите 5 опытов и результаты занесите в табл. 4.

4. Расчет данных (C_2)

№ п/п	n_i , дел.	$n_{\text{ср}}$	Δn_i	Δn_i^2	S_p	Δn	E , %
1							
...							

11. Подключите конденсатор C_0 к средним клеммам ключа K_2 . Проведите 5 опытов и результаты занесите в табл. 5.

5. Расчет данных (C_0)

№ п/п	n_{0i} , дел.	$n_{\text{ср}}$	Δn_i	Δn_i^2	S_p	Δn	E , %
1							
...							

12. Рассчитайте средние значения $n_{\text{ср}}$ по формуле

$$n_{\text{ср}} = \frac{\sum n_i}{p} = \frac{n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5}{p},$$

где p – число опытов, и заполните оставшиеся столбцы всех таблиц, используя формулы:

$$\Delta n_i = n_i - n_{\text{ср}}; \quad S_p = \sqrt{\frac{\sum \Delta n_i^2}{p(p-1)}}; \quad \Delta n = \alpha_p S_p,$$

где $\alpha_p = 2,8$ – коэффициент Стьюдента для пяти измерений.

13. По формуле (3) рассчитайте средние значения C_1 , C_2 , $C_{\text{пар}}$ и $C_{\text{посл}}$.

14. Рассчитайте относительные и абсолютные погрешности величин C_1 , C_2 , $C_{\text{пар}}$ и $C_{\text{посл}}$ (формулы приводятся без вывода):

$$E = \frac{\Delta C}{C_{\text{ср}}} = \frac{\Delta C_0}{C_{0\text{ср}}} + \frac{\Delta n_0}{n_{0\text{ср}}} + \frac{\Delta n}{n_{\text{ср}}}; \quad \Delta C = EC_{\text{ср}}.$$

15. Запишите окончательные результаты:

$$C_1 = C_{1\text{ср}} \pm \Delta C_1; \quad C_2 = C_{2\text{ср}} \pm \Delta C_2;$$

$$C_{\text{пар}} = C_{\text{пар. ср}} \pm \Delta C_{\text{пар}}; \quad C_{\text{посл}} = C_{\text{посл. ср}} \pm \Delta C_{\text{посл}}.$$

16. Для проверки формул (1) и (2) убедитесь в *приближенном* выполнении равенств:

$$C_{\text{пар}} \approx \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}; \quad C_{\text{посл}} \approx C_1 + C_2.$$

Контрольные вопросы

1. Что такое конденсатор? Какие бывают конденсаторы?
2. Что называется емкостью конденсатора? В чем она измеряется?
3. Напишите формулу емкости плоского конденсатора.
4. Какую роль играет диэлектрик в конденсаторе?
5. Для чего нужны конденсаторы? Где они используются?
6. Как ведут себя заряды, напряжения и емкости батарей при параллельном и последовательном соединении конденсаторов?
7. Какой наибольший заряд можно поместить на пластины конденсатора? Что нужно знать для ответа на этот вопрос?
8. Почему напряжение на пластинах заряженного конденсатора нельзя просто измерить с помощью обычного вольтметра?
9. На чем основан используемый в данной работе метод измерения емкости конденсатора?
10. Изобразите наибольшее возможное число *различных* способов соединения четырех одинаковых конденсаторов.
11. Имеются три одинаковых конденсатора. Как их нужно соединить, чтобы:
 - а) заряд на обкладках батареи был наибольшим;
 - б) напряжение на батарее было наибольшим?
12. Каким образом можно повысить точность измерения емкости конденсатора в данной работе?
13. Чем определяются предельные значения емкостей конденсаторов (наибольшее и наименьшее), которые могут быть измерены на данной установке? Можно ли расширить эти пределы?
14. Укажите названия и назначения отдельных элементов схемы.
15. Как изменится емкость плоского воздушного конденсатора, если его геометрические размеры увеличить в 10 раз?
16. Два одинаковых конденсатора соединены последовательно. Как изменится емкость этой батареи, если расстояние между пластинами одного конденсатора в два раза увеличить, а расстояние между пластинами другого конденсатора в два раза уменьшить?
17. Почему конденсаторы не используются в качестве источника энергии, например, в автомобилях?

Литература

1. Савельев, И.В. Курс общей физики / И.В. Савельев. – М. : Наука, 1982. – Т. 2. – С. 84 – 86.
2. Савельев, И.В. Курс физики / И.В. Савельев. – М. : Наука, 1989. – Т. 2. – С. 82 – 86.
3. Савельев, И.В. Курс общей физики / И.В. Савельев. – М. : Лань, 2005. – Т. 1.
4. Бондарев, Б.В. Курс общей физики / Б.В. Бондарев, Н.П. Калашников, Г.Г. Спирин. – М. : Высшая школа, 2003. – Т. 2. – С. 85 – 89.
5. Детлаф, А.А. Курс физики / А.А. Детлаф, Б.М. Яворский. – М. : Высшая школа, 1999. – С. 222 – 226.
6. Трофимова, Т.И. Курс физики / Т.И. Трофимова. – М. : Высшая школа, 2001. – С. 174 – 177.

7. Зисман, Г.А. Курс физики / Г.А. Зисман, О.М. Тодес. – М. : Наука, 1967. – Т. 2. – С. 76 – 84.
 8. Грабовский, Р.И. Курс физики / Р.И. Грабовский. – М. : Лань, 2004. – С. 112–113.

Практическая (расчетная) часть лабораторной работы

Работа выполнена " ____ " _____ 20 ____ г. _____
 (подпись)

Работа зачтена " ____ " _____ 20 ____ г. _____
 (подпись)

1. Проводим 5 опытов с *параллельно* соединенными конденсаторами и результаты заносим в табл. 1.

1. Расчетные данные (параллельное соединение)

№ п/п	n_i , дел.	n_{cp}	Δn_i	Δn_i^2	S_p	Δn	$E, \%$
1							
2							
3							
4							
5							

Рассчитываем среднее значение n_{cp} для первой таблицы:

$$n_{cp} = \frac{n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5}{p} = \frac{\quad}{\quad} \approx \quad .$$

Находим отклонения Δn_i каждого i -го измерения от среднего значения n_{cp} и их квадраты Δn_i^2 :

$$\Delta n_1 = n_1 - n_{cp} = \quad = \quad ; \quad \Delta n_1^2 = \quad \approx \quad ;$$

$$\Delta n_2 = n_2 - n_{cp} = \quad = \quad ; \quad \Delta n_2^2 = \quad \approx \quad ;$$

$$\Delta n_3 = n_3 - n_{cp} = \quad = \quad ; \quad \Delta n_3^2 = \quad \approx \quad ;$$

$$\Delta n_4 = n_4 - n_{cp} = \quad = \quad ; \quad \Delta n_4^2 = \quad \approx \quad ;$$

$$\Delta n_5 = n_5 - n_{cp} = \quad = \quad ; \quad \Delta n_5^2 = \quad \approx \quad .$$

Рассчитываем среднюю квадратичную погрешность S_p :

$$S_p = \sqrt{\frac{\sum \Delta n_i^2}{p(p-1)}} = \sqrt{\frac{\quad}{\quad}} \approx \quad .$$

Рассчитываем абсолютную и относительную погрешности величины n :

$$\Delta n = \alpha_p S_p = \quad \approx \quad ; \quad E = \frac{\Delta n}{n_{cp}} = \quad \approx \quad = \quad \%$$

Аналогично заполняем табл. 2 – 5.

2. Проводим 5 опытов с *последовательно* соединенными конденсаторами и результаты заносим в табл. 2.

2. Расчетные данные (последовательное соединение)

№ п/п	n_i , дел.	n_{cp}	Δn_i	Δn_i^2	S_p	Δn	E , %
1							
2							
3							
4							
5							

3. Проводим 5 опытов с конденсатором C_1 и результаты заносим в табл. 3.

3. Расчетные данные (C_1)

№ п/п	n_i , дел.	n_{cp}	Δn_i	Δn_i^2	S_p	Δn	E , %
1							
2							
3							
4							
5							

4. Проводим 5 опытов с конденсатором C_2 и результаты заносим в табл. 4.

4. Расчетные данные (C_2)

№ п/п	n_i , дел.	n_{cp}	Δn_i	Δn_i^2	S_p	Δn	E , %
1							
2							
3							
4							
5							

5. Проводим 5 опытов с конденсатором C_0 и результаты заносим в табл. 5.

5. Расчетные данные (C_0)

№ п/п	n_{0i} , дел.	n_{cp}	Δn_i	Δn_i^2	S_p	Δn	E , %
1							
2							

3							
4							
5							

6. По формуле (3) рассчитываем средние значения C_1 , C_2 , $C_{\text{посл}}$ и $C_{\text{пар}}$:

$$C_{1\text{cp}} = \frac{n_{1\text{cp}}}{n_{0\text{cp}}} C_0 = \text{---} \approx \text{МКФ};$$

$$C_{2\text{cp}} = \frac{n_{2\text{cp}}}{n_{0\text{cp}}} C_0 = \text{---} \approx \text{МКФ};$$

$$C_{\text{посл.ср}} = \frac{n_{\text{посл.ср}}}{n_{0\text{cp}}} C_0 = \text{---} \approx \text{МКФ};$$

$$C_{\text{пар.ср}} = \frac{n_{\text{пар.ср}}}{n_{0\text{cp}}} C_0 = \text{---} \approx \text{МКФ}.$$

7. Рассчитываем относительные и абсолютные погрешности величин C_1 , C_2 , $C_{\text{посл}}$ и $C_{\text{пар}}$:

$$E_1 = \frac{\Delta C_1}{C_{1\text{cp}}} = \frac{\Delta C_0}{C_{0\text{cp}}} + \frac{\Delta n_0}{n_{0\text{cp}}} + \frac{\Delta n_1}{n_{1\text{cp}}} = \text{---} + \text{---} + \text{---} \approx \text{---};$$

$$\Delta C_1 = E_1 \cdot C_{1\text{cp}} = \text{---} \approx \text{МКФ};$$

$$E_2 = \frac{\Delta C_2}{C_{2\text{cp}}} = \frac{\Delta C_0}{C_{0\text{cp}}} + \frac{\Delta n_0}{n_{0\text{cp}}} + \frac{\Delta n_2}{n_{2\text{cp}}} = \text{---} + \text{---} + \text{---} \approx \text{---};$$

$$\Delta C_2 = E_2 \cdot C_{2\text{cp}} = \text{---} \approx \text{МКФ};$$

$$E_{\text{посл}} = \frac{\Delta C_{\text{посл}}}{C_{\text{посл.ср}}} = \frac{\Delta C_0}{C_{0\text{cp}}} + \frac{\Delta n_0}{n_{0\text{cp}}} + \frac{\Delta n_{\text{посл}}}{n_{\text{посл.ср}}} = \text{---} + \text{---} + \text{---} \approx \text{---};$$

$$\Delta C_{\text{посл}} = E_{\text{посл}} \cdot C_{\text{посл.ср}} = \text{---} \approx \text{МКФ};$$

$$E_{\text{пар}} = \frac{\Delta C_{\text{пар}}}{C_{\text{пар.ср}}} = \frac{\Delta C_0}{C_{0\text{cp}}} + \frac{\Delta n_0}{n_{0\text{cp}}} + \frac{\Delta n_{\text{пар}}}{n_{\text{пар.ср}}} = \text{---} + \text{---} + \text{---} \approx \text{---};$$

$$\Delta C_{\text{пар}} = E_{\text{пар}} \cdot C_{\text{пар.ср}} = \text{---} \approx \text{МКФ}.$$

8. Записываем окончательные результаты:

$$C_1 = C_{1\text{cp}} \pm \Delta C_1 = (\text{---} \pm \text{---}) \text{МКФ};$$

$$C_2 = C_{2\text{ ср}} \pm \Delta C_2 = (\quad \pm \quad) \text{ мкФ};$$

$$C_{\text{посл}} = C_{\text{посл. ср}} \pm \Delta C_{\text{посл}} = (\quad \pm \quad) \text{ мкФ};$$

$$C_{\text{пар}} = C_{\text{пар. ср}} \pm \Delta C_{\text{пар}} = (\quad \pm \quad) \text{ мкФ}.$$

9. Проверяем *приближенное* выполнение равенств (1) и (2):

$$\frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = \text{—————} \approx \quad ; \quad C_1 + C_2 = \quad \approx \quad .$$



Подписано в печать 02.11.2009
Формат 60 × 84/16. 0,7 усл. печ. л. Тираж 200 экз. Заказ № 463

Издательско-полиграфический центр ТГТУ
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14