



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Физика»

Методические указания
к лабораторной работе №37
по физике (раздел «Электростатика»)

«Изучение процесса зарядки конденсатора»

Авторы
Кривошеев Н.В.,
Бугаян И.А.

Ростов-на-Дону, 2018

Аннотация

Указания содержат краткую теорию процессов зарядки и разрядки конденсатора, описание рабочей установки и методику эксперимента по изучению процесса зарядки конденсатора, контрольные вопросы для самоподготовки и тестовые задания.

Предназначено для обучающихся, изучающих дисциплину «Физика» для выполнения лабораторной работы по программе курса «Физика».

Авторы

к.ф.-м.н., профессор кафедры
«Физика» Кривошеев Н.В.

к.т.н., доцент кафедры
«Физика» Бугаян И.А.





Оглавление

Лабораторная работа № 37 Изучение процесса зарядки конденсатора	4
Краткая теория	4
Порядок выполнения работы.	12
Тестовые задания	16
Указания по технике безопасности	18
Литература	19

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 37

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ЗАРЯДКИ КОНДЕНСАТОРА

Цель работы: экспериментальное исследование зависимости зарядного тока конденсаторов различной емкости при различном напряжении от времени.

Приборы и принадлежности:

коммутационная коробка,
двухсторонний переключатель,
резистор $5 \times 1 \text{ Мом}$, 1 W ,
соединительный переходник с 19 мм гнездами,
конденсатор $3 \times 4.7 \text{ мкФ}$,
источник питания,
секундомер, цифровой, $1/100 \text{ с.}$,
цифровой мультиметр,
соединительный провод, $3 = 250 \text{ мм}$, красный,
соединительный провод, $3 = 250 \text{ мм}$, синий.

Краткая теория

Если двум изолированным друг от друга проводникам сообщить заряды q_1 и q_2 , то между ними возникает разность потенциалов $\Delta\varphi$, зависящая от величины зарядов, диэлектрической проницаемости среды, размеров и формы проводников. При переносе заряда величиной Δq от одного проводника к другому величина $\Delta\varphi$ будет изменяться прямо пропорционально. Это справедливо для проводников любой формы и размеров. Следовательно, можно ввести понятие взаимной емкости C как физической величины, численно равной заряду, который нужно перенести с одного проводника на другой для того, чтобы изменить на единицу разность потенциалов между ними:

$$C = \frac{\Delta q}{\Delta \varphi}$$

В системе СИ электрическая емкость измеряется в фарадах (Ф).

При определенных конфигурациях проводников электрическое поле оказывается сосредоточенным лишь в некоторой области пространства и заряды проводников одинаковы по модулю и противоположны по знаку.

Изучение процесса зарядки конденсатора

Такие системы называются конденсаторами, а проводники, составляющие конденсатор, называются обкладками. Емкость конденсатора является взаимной ёмкостью его обкладок. Конденсаторы представляют собой накопители электрического заряда и электрической энергии. Емкость конденсатора зависит от его формы, геометрических размеров и диэлектрической проницаемости среды, заполняющей пространство между обкладками.

Простейший конденсатор представляет собой две плоских проводящих пластины, расположенных параллельно друг другу на малом по сравнению с размерами пластин расстоянии и разделенных слоем диэлектрика. Такой конденсатор называется плоским.

В случае плоского конденсатора при условии однородности электрического поля, его емкость можно представить как:

$$C = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot S}{d},$$

где $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – электрическая постоянная;
 ε – относительная диэлектрическая проницаемость среды, заполняющей пространство между обкладками;
 S – площадь пластины;
 d – расстояние между пластинами.

При практическом использовании конденсаторов для получения необходимой емкости собирают батареи из отдельных элементов, соединяя их последовательно или параллельно.

При **последовательном** соединении конденсаторов (рис. 1) заряд на обкладках остается величиной постоянной: $Q = Q_1 = Q_2 = \dots$, а напряжения суммируются $U = U_1 + U_2 + \dots$. Тогда общая емкость:

$$\frac{1}{C_{\text{пол}}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i} \quad (1)$$

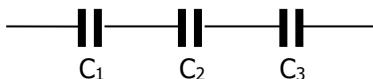


Рис. 1. Последовательное соединение конденсаторов

При последовательном соединении на каждый из конденсаторов приходится лишь часть разности потенциалов $\Delta\varphi$ напряжения источника.

При **параллельном** соединении конденсаторов (рис. 2) напряжение остается величиной постоянной: $U = U_1 = U_2 = \dots$, заряд батареи конденсаторов $Q = Q_1 + Q_2 + \dots$. Тогда общая емкость:

$$C_{\text{пар}} = \sum_{i=1}^n C_i \quad (2)$$

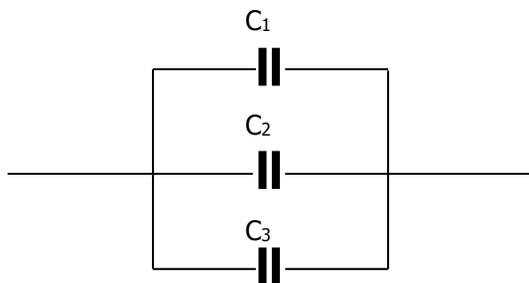


Рис. 2. Параллельное соединение конденсаторов.

Зарядка конденсатора

Рассмотрим цепь, показанную на рис. 3. Она содержит конденсатор емкостью C , резистор сопротивлением R и источник постоянного тока, ЭДС которого ε и внутреннее сопротивление r_0 .

Пусть при разомкнутом ключе K конденсатор C разряжен. При замыкании ключа в момент $t=0$ по цепи потечет ток и конденсатор начнет заряжаться. По мере накопления заряда на обкладках конденсатора появится разность потенциалов $U = \varphi_1 - \varphi_2$. Как накопление заряда, так и изменение разности потенциалов на обкладках конденсатора происходит не мгновенно, а за некоторый конечный промежуток времени. Найдем закон изменения разности потенциалов во времени.

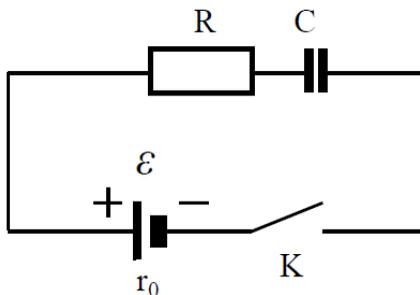


Рис. 3. Электрическая схема для зарядки конденсатора

Применим закон Ома к замкнутой цепи:

$$I(R + r_0) + U = \mathcal{E} \quad (3)$$

Учитывая, что $I = \frac{dq}{dt}$, а $q = CU$ уравнение (3) приводится к виду

$$(R + r_0)C \frac{dq}{dt} = \mathcal{E} - U \quad (4)$$

Разделяя переменные и интегрируя, находим

$$\ln(\mathcal{E} - U) = -\frac{1}{(R + r_0)C} + B_1 \quad (5)$$

Постоянную интегрирования B_1 найдем из начальных условий. При $t=0$ и $U=0$, поэтому $B_1 = \ln \mathcal{E}$. Тогда уравнение (5) примет вид:

$$\ln \frac{\mathcal{E} - U}{\mathcal{E}} = -\frac{t}{(R + r_0)C} \quad (6)$$

Изучение процесса зарядки конденсатора

Потенцируя это уравнение, окончательно получим:

$$U = \mathcal{E} \left(1 - e^{-\frac{t}{(R-r_0)C}} \right) \quad (7)$$

Внутреннее сопротивление источника r_0 и сопротивление микроамперметра в схеме на рисунке 3 из-за их малых значений по сравнению с сопротивлением других элементов цепи можно считать равным нулю.

Сила тока при зарядке конденсатора (при $r_0 \rightarrow 0$)

$$I(t) = \frac{\mathcal{E}}{R} \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right) \quad (8)$$

Разрядка конденсатора

Рассмотрим электрическую цепь, показанную на рис. 4. Пусть в момент времени $t=0$ конденсатор заряжен до напряжения U_0 . При замыкании ключа в цепи потечет ток и конденсатор начнет разряжаться. Закон Ома для рассматриваемой цепи (ключ К замкнут) имеет вид:

$$IR + U = 0 \quad (9)$$

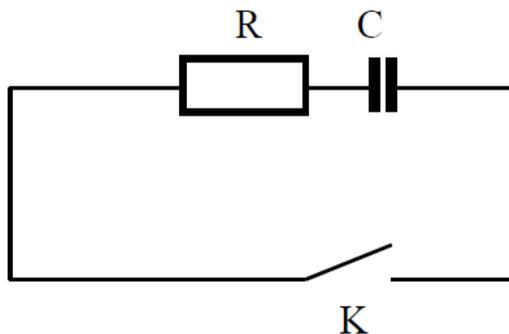


Рис. 4. Электрическая схема для разрядки конденсатора

Изучение процесса зарядки конденсатора

Уравнение (9) перепишем так:

$$RC \frac{dU}{dt} + U = 0 \quad (10)$$

Разделяя переменные и интегрируя, находим

$$\ln U = -\frac{t}{RC} + B_2 \quad (11)$$

При $t=0$ $U=U_0$, поэтому $B_2=\ln U_0$. Следовательно,

$$\ln U = \ln U_0 - \frac{t}{RC} \quad (12)$$

Потенцируя (12), получим

$$U = U_0 e^{-\frac{t}{RC}} \quad (13)$$

Зависимость силы разрядного тока от времени имеет следующий вид:

$$I(t) = \frac{U_0}{R} \cdot e^{-\frac{t}{RC}} \quad (14)$$

Графически функции (7) и (14), то есть изменение напряжения на конденсаторе при его зарядке и разрядке, изображены на рис 5.

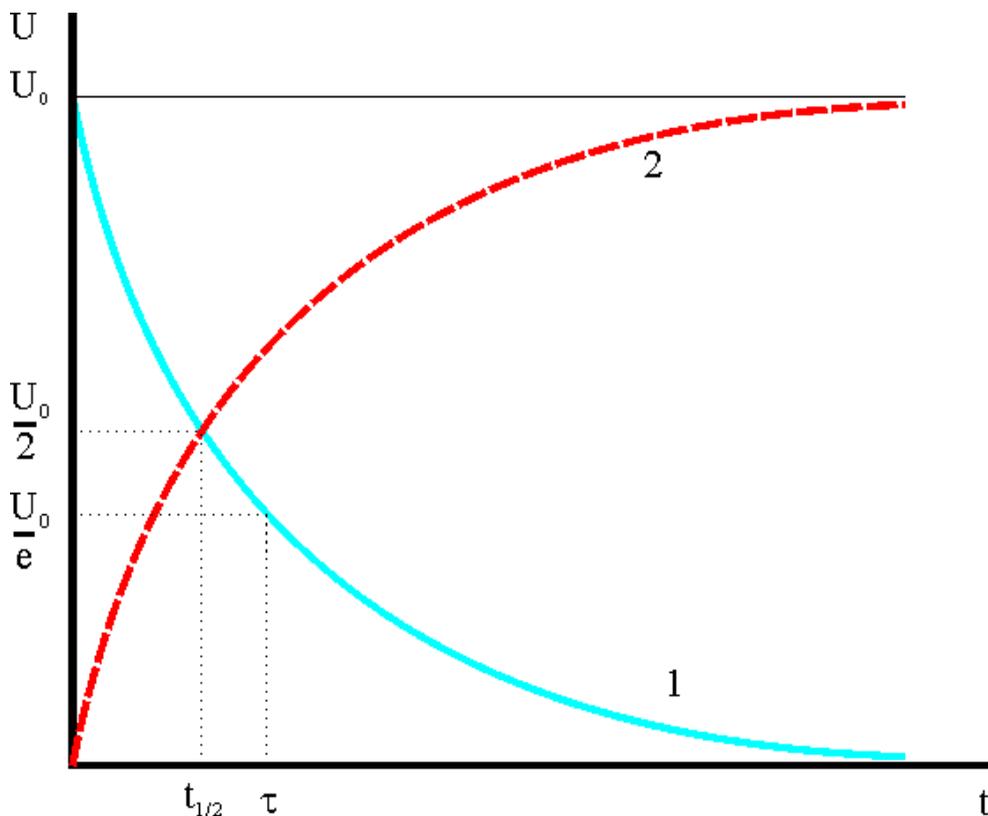


Рис.5. Зарядная и разрядная кривые изменения напряжения на конденсаторе.

Из уравнений (7) и (14) и рис. 5 видно, что изменение напряжения при зарядке (кривая 2) разрядке (кривая 1) происходят по экспоненте и значения U стремятся к нулю (разрядка конденсатора, кривая 1), или к U_0 (зарядка конденсатора, кривая 2). Такой процесс называется **апериодическим**.

Если конденсатор заряжается, то сила тока в начальный момент времени согласно уравнению (8) имеет максимальное значение, а напряжение равно нулю.

С течением времени сила тока убывает по экспоненте, а напряжение стремится к U_0 .

При разрядке конденсатора в начальный момент времени ток и напряжение имеют максимальные значения, а с течением времени убывают по экспоненте согласно уравнениям (13) и (14).

Изучение процесса зарядки конденсатора

Скорость протекания этих процессов определяется величиной $\tau = RC$, которая называется постоянной времени цепи и численно равна промежутку времени, в течении которого напряжение на конденсаторе изменяется в e раз. Постоянная времени цепи характеризует скорость зарядки и разрядки конденсатора.

Из уравнений (7) и (13) при $t = \tau$ получим $U = \mathcal{E}(1 - e^{-1}) = 0,63\mathcal{E}$, $U = U_0 e^{-1} = 0,37U_0$. Таким образом, значение τ можно найти из графика (рис. 5).

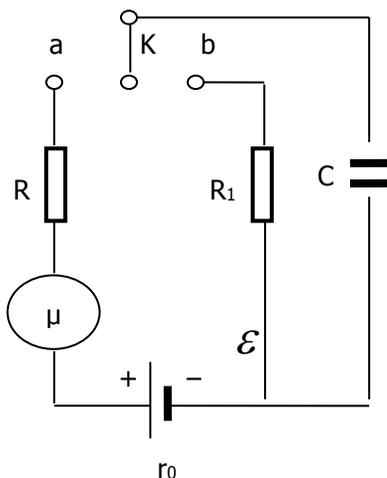


Рис.6. Принципиальная схема установки

Порядок выполнения работы.



Рис. 7. Экспериментальная установка для измерения тока зарядки конденсатора.

Собрать схему экспериментальной установки руководствуясь рисунками 6 и 7.

Последовательно с цифровым мультиметром **обязательно** должен быть включен высокоомный резистор R .

Задание 1.

Провести измерение значений зарядного тока конденсатора в зависимости от времени. Измерения проводить после переключения ключа K из положения «b» в положение «a». Записать показания цифрового мультиметра в таблицу 1 через определенные интервалы времени, фиксируемые секундомером. Измерения повторить не менее 3 раз, после чего вычислить средние значения.

Изучение процесса зарядки конденсатора

Таблица 1.

Зарядный ток (мкА) в зависимости от времени (с) при $U = 6 В$,
 $R = 5 Мом$ (пять поделовательно соединенных резисторов по
 1 Мом) и $C = 14,1 мкФ$ (три параллельно соединенных
 конденсатора по 4,7 мкФ).

$U = 6 В, R = 5 Мом, C = 14,1 мкФ$												
$t, с$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	100	120	140
I_1												
I_2												
I_3												
I_{cp}												

По результатам таблицы 1 построить график зависимости силы тока заряда конденсатора I_{cp} от времени t .

Используя значения R и C , рассчитать постоянную времени цепи $\tau = RC$. Из формулы (8) видно, что зарядный ток через время τ должен уменьшится в $e = 2,72$ раз. Пользуясь построенным графиком проверить это утверждение и оценить погрешность.

$$I_{\tau \text{ теор}} = \frac{I_0}{e},$$

$I_{\tau \text{ экс}}$ -из графика

$$\Delta I_{\tau} = \left| I_{\tau \text{ теор}} - I_{\tau \text{ экс}} \right|$$

$$\delta I_{\tau} = \frac{\Delta I_{\tau}}{I_{\tau \text{ экс}}}$$

Задание 2.

Найти зависимость начального зарядного тока I_0 от величины зарядного сопротивления и напряжения при постоянном значении емкости. Величины зарядных сопротивлений при постоянном напряжении устанавливать 1, 2, 3, 4 и 5 Мом. Зарядное напряжение при постоянном сопротивлении выбрать 2, 4, 6 и 8 В. Результаты измерений занести в таблицу 2.

Изучение процесса зарядки конденсатора

Таблица 2.

$U = 6 В, C = 14,1 мкФ$						$R = 1 Мом, C = 14,1 мкФ$					
$R, Мом$	5	4	3	2	1		$U, В$	8	6	4	2
$I_0, мкА$							$I_0, мкА$				

По данным таблицы 2 построить графики зависимости начального зарядного тока I_0 от величины зарядного сопротивления и от напряжения.

Задание 3

Для выбранных выше значений зарядного сопротивления при постоянном напряжении $U = 6 В$ и емкости конденсатора $C = 14,1 мкФ$ провести измерения зарядного тока в зависимости от времени. Результаты измерений занести в таблицу 3.

Таблица 3.

Зависимость зарядного тока (мкА) конденсатора от времени (с) при $U = 6 В$ и $C = 14,1 мкФ$.

	$t, с$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	100
	$R, Мом$										
$I, мкА$	1										
	2										
	3										
	4										
	5										

Задание 4.

Определить зависимость зарядного тока от времени при постоянном значении емкости $C = 14,1 мкФ$ и сопротивлению $R = 1 Мом$ при значениях напряжения U равных 4, 6 и 8 В.

Результаты занести в таблицу 4.

Таблица 4.
 Зависимость зарядного тока от времени при $C = 14,1 \text{ мкФ}$ и
 $R = 1 \text{ Мом}$ при U равных 4, 6 и 8 В.

	$t, \text{ с}$	0	20	40	60	80	100	120
	$U, \text{ В}$							
$I, \text{ мкА}$	4							
	6							
	8							

По данным таблицы 4 построить график зависимости тока от времени для различных значений зарядного напряжения при одних и тех же значениях емкости и сопротивления.

По данным графикам вычислить экспериментальное значение сопротивления зарядного резистора и сравнить его с действительным значением этого сопротивления. Оценить погрешность.

Контрольные вопросы

1. Дать определение взаимной электрической емкости проводников.
2. Перечислить единицы измерения заряда, силы тока, напряжения, сопротивление, электрической емкости, электрической постоянной.
3. От чего зависит емкость плоского конденсатора? Записать выражения для емкости плоского конденсатора.
4. Чему равна емкость системы конденсаторов при их последовательном и параллельном соединении?
5. Записать формулу для определения энергии заряженного конденсатора.
6. Что называется постоянной времени цепи, какова ее размерность?
7. По каким законам изменяются со временем ток и напряжение при зарядке и разрядке конденсатора?

Тестовые задания

1. Электроемкость конденсатора — это
- 1) объем пространства между пластинами
 - 2) суммарный объем его пластин
 - 3) отношение суммарного заряда на пластинах к разности потенциалов, между пластинами
 - 4) отношение модуля заряда на одной пластине к разности потенциалов между пластинами

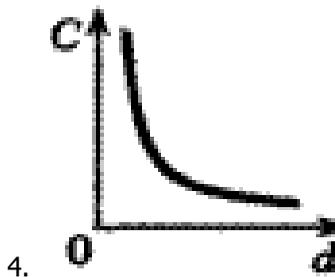
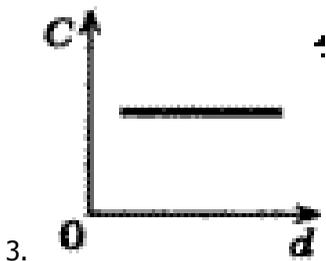
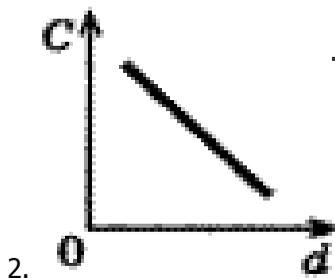
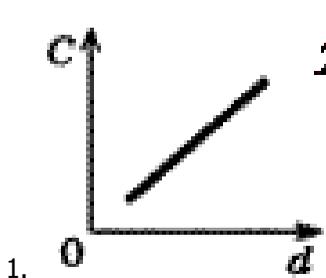
2. Если разность потенциалов между пластинами конденсатора увеличить в 3 раза не меняя заряда конденсатора, то его электроемкость

- 1) увеличится в 3 раза
- 2) уменьшится в 3 раза
- 3) не изменится
- 4) уменьшится в 9 раз

3. На одной обкладке конденсатора имеется положительный заряд 0,2 Кл, а на другой – отрицательный заряд 0,2 Кл. Электроемкость конденсатора 10^4 мкФ. Напряжение между обкладками конденсатора равно

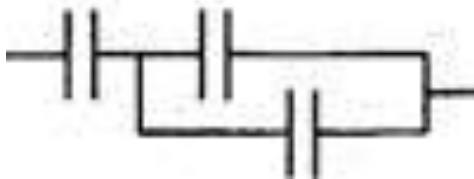
- 1) 20 мкВ
- 2) 40 мкВ
- 3) 20 В
- 4) 40 В

4. Зависимость электроемкости плоского конденсатора от расстояния между пластинами показана на графике



Изучение процесса зарядки конденсатора

5.



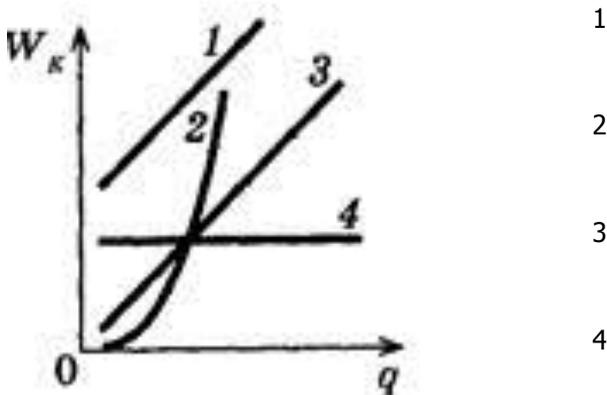
Емкость системы из трех одинаковых конденсаторов, изображенной на рис., равна 6 мкФ. Емкость каждого конденсатора равна

- 1) 2 мкФ
- 2) 3 мкФ
- 3) 4 мкФ
- 4) 9 мкФ

6. Воздушный конденсатор емкостью C заполняют диэлектриком с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 2$. Конденсатор какой емкости нужно включить последовательно с данным, чтобы получившаяся батарея тоже имела емкость C ?

- 1) C
- 2) $2C$
- 3) $3C$
- 4) $4C$

7. Зависимость энергии плоского конденсатора от заряда на его пластине при неизменной емкости отражает на графике кривая:



- 1
- 2
- 3
- 4

Изучение процесса зарядки конденсатора

8. Как изменится энергия электрического поля плоского заряженного конденсатора, отключенного от источника тока, после увеличения расстояния между обкладками в 2 раза?

1) уменьшится в 2 раза 2) уменьшится в 4 раза 3) увеличится в 2 раза 4) не изменится

9. Энергия плоского воздушного конденсатора, отключенного от источника, равна W . Какую работу нужно совершить, чтобы увеличить расстояние между пластинами конденсатора в k раз?

1) W/k 2) kW 3) $(k - 1)W$ 4) $(k - 1)W / k$

Указания по технике безопасности

ВНИМАНИЕ! Лица, не прошедшие инструктаж по технике безопасности **не допускаются** к проведению лабораторных работ. Перед началом лабораторной работы необходимо ознакомиться с инструкцией по ее проведению в методических указаниях.

ЗАПРЕЩАЕТСЯ:

1. Включать или выключать электрические рубильники силовых щитов.

2. Подавать электрическое напряжение без предварительной проверки схемы лаборантом или преподавателем.

3. Производить любые изменения в схеме в процессе работы.

4. Оставлять без присмотра включенную установку.

При работе с электронагревательными приборами соблюдать меры противопожарной безопасности, не касаться нагревательных элементов руками и горючими предметами.

При обнаружении неисправного оборудования, электрических розеток и вилок немедленно сообщать об этом преподавателю. Запрещается работать на неисправном оборудовании. По окончании работы отключить установку от электропитания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трофимова Т.И. Курс физики. М.: Академия, 2010.
2. Общая физика: руководство по лабораторному практикуму: учебное пособие / под ред. И.Б.Крынецкого и Б.А. Струкова. М.: ИНФРА-М, 2008.
3. А.С. Чуев, В.Н. Бовенко. Изучение процессов зарядки и разрядки конденсатора. МГТУ им. Н.Э.Баумана, <http://baumanki.net/>.
4. Ю.И. Беззубов. Изучение процессов зарядки и разрядки конденсатора. МГТУ им. Н.Э.Баумана, <http://baumanki.net/>.
5. Тестовые задания https://studopedia.ru/8_8224_test---po-teme-elektroemkost-kondensatori.html