

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИЗУЧЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Методические указания
к лабораторной работе

Составители: *В. С. Кривченкова*, канд. физ.-мат. наук, доцент

Рецензент: *Е. Л. Казакова*, канд. физ.-мат. наук, доцент

Петрозаводск
2007

Изучение диэлектрических свойств различных материалов

Задача:

изучить влияние поляризации диэлектрика на электрическое поле и емкость конденсаторов.

Цель работы:

1. Установить зависимость между зарядом и разностью потенциалов на обкладках плоского конденсатора.
2. Используя данные п.1, определить значение электрической постоянной ϵ_0 .
3. Найти зависимость заряда на обкладках конденсатора от расстояния между обкладками при постоянной разности потенциалов.
4. Найти значения относительных диэлектрических проницаемостей ϵ_r для различных диэлектриков.

Приборы и принадлежности:

1. Плоский конденсатор С, $d = 260$ мм.
2. Резистор R, 10 МОм.
3. Универсальный измерительный усилитель (УИУ).
4. Высоковольтный источник питания, 0-10 кВ.
5. Конденсатор C_1 , 0.22 мкФ.
6. Вольтметр V, 0.3-300 В.
7. Набор диэлектрических пластин.

Теоретическое введение. Емкость плоского конденсатора

Устройства, имеющие благодаря специальному расположению и форме составляющих проводников большую, не зависящую от окружающих тел емкость, называются конденсаторами.

Емкость конденсатора С определяется зарядом q, повышающим разность потенциалов U между его обкладками на единицу.

$$C = Q/U. \quad (1)$$

Вычисление емкости конденсатора сводится к определению разности потенциалов между обкладками конденсатора при известном заряде на обкладках. Если на одной из обкладок плоского конденсатора имеется заряд Q, то напряженность поля E_0 между обкладками равна:

$$E_0 = \frac{Q}{S\epsilon_0}, \quad (2)$$

здесь S – площадь пластины конденсатора; ϵ_0 – постоянная, зависящая от выбора системы единиц.

В системе СИ ϵ_0 – размерная постоянная. Эту постоянную называют электрической постоянной или абсолютной диэлектрической проницаемостью вакуума. В системе СИ $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м. ϵ_0 относится к числу фундаментальных физических постоянных.

Электрическое поле плоского конденсатора при малом расстоянии между пластинами показано на рис. 1.

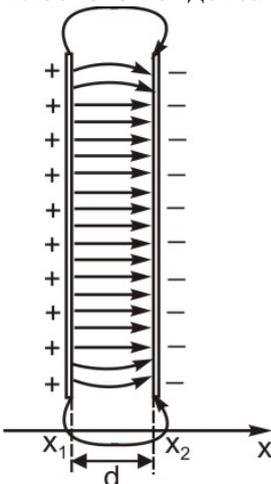


Рис. 1. Электрическое поле плоского конденсатора

Разность потенциалов между обкладками

$$U = \int_{x_1}^{x_2} E_0 \cdot dx = \frac{Qd}{S\epsilon_0}. \quad (3)$$

Отсюда по формуле (1) получаем, что емкость плоского конденсатора равна:

$$C_0 = \frac{\epsilon_0 S}{d}. \quad (4)$$

(обкладки конденсатора находятся в вакууме)

Поляризация диэлектрика

При заполнении всего пространства между обкладками конденсатора однородным диэлектриком напряженность во всех точках поля уменьшается.

В диэлектрике, внесенном в электрическое поле между обкладками конденсатора, возникает поляризация, сопровождающаяся перераспределением зарядов в молекулах диэлектрика и поворотом дипольных молекул. В случае однородного диэлектрика эта поляризация не сопровождается образованием объемных зарядов в толще диэлектрика, так как молекулы в целом нейтральны и заряды соседних молекул друг друга компенсируют. На границе диэлектрика компенсации зарядов не происходит, поэтому на поверхности, обращенной к отрицательной пластине, возникают нескомпенсированные положительные заряды и наоборот. Эти заряды носят название "связанных зарядов" (рис. 2.).

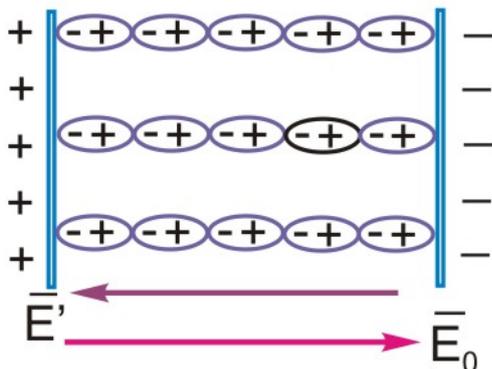


Рис. 2. "Связанные заряды" в электрическом поле плоского конденсатора

В результате в диэлектрике создается дополнительное электрическое поле E' , образованное поляризацией диэлектрика, направленное в сторону, противоположную направлению поля E_0 , созданного "свободными" зарядами на обкладках конденсатора.

Диэлектрическая проницаемость

Определением вектора электрического смещения D является соотношение:

$$D = \epsilon_0 E + P, \quad (5)$$

здесь P – вектор поляризации; E – напряженность электрического поля внутри диэлектрика.

Для линейного изотропного диэлектрика

$$P = \epsilon \epsilon_0 E, \quad (6)$$

где ϵ – диэлектрическая восприимчивость.

Преобразуем (5) с учетом (6):

$$D = \epsilon_0 E + \epsilon \epsilon_0 E = \epsilon_0 E(1 + \epsilon) = \epsilon E,$$

отсюда

$$\epsilon = D/E, \quad (7)$$

где ϵ – абсолютная диэлектрическая проницаемость.

Наряду с ϵ удобно использовать безразмерную величину

$$\epsilon_r = \epsilon/\epsilon_0, \quad (8)$$

называемую относительной диэлектрической проницаемостью. Относительная диэлектрическая проницаемость является одной из основных макроскопических характеристик диэлектрика.

Относительная диэлектрическая проницаемость – отношение напряженности поля в вакууме к напряженности среднего макроскопического поля в однородном изотропном диэлектрике при неизменных зарядах, создающих поле.

Относительная диэлектрическая проницаемость показывает также, во сколько раз уменьшается сила взаимодействия электрических зарядов при переносе их из вакуума в однородную изотропную среду, если расстояние между зарядами остается постоянным.

Относительная диэлектрическая проницаемость может быть вычислена теоретически, если известна поляризуемость атомов, молекул или ионов, входящих в состав диэлектрика, и

если можно связать локальное поле (поле, действующее на данную поляризующуюся частицу) со средним макроскопическим полем.

Относительная диэлектрическая проницаемость зависит от поляризуемости частиц, входящих в состав диэлектрика, от их концентрации и взаимного расположения, однако количественно выражение этой зависимости в общем случае имеет сложный вид.

Описание метода

Наиболее распространенные экспериментальные методы определения относительной диэлектрической проницаемости основаны на измерении емкости конденсатора, заполненного исследуемым диэлектриком, так как $C \sim \epsilon_r$.

Пусть между обкладками конденсатора C находится воздух. Будем считать, что в исследуемом конденсаторе C можно пренебречь краевыми эффектами (то есть рассматриваем однородное электрическое поле). Тогда согласно (3):

$$Q = \epsilon_0 \frac{S}{d} U. \quad (9)$$

Таким образом, если определить значения Q , S , U и d , то из (9) можно рассчитать электрическую постоянную ϵ_0 .

Заполним пространство между пластинами конденсатора диэлектриком с проницаемостью ϵ_r . При неизменном заряде Q на пластинах разность потенциалов на обкладках U_d уменьшится по сравнению с вакуумом U (или воздухом) в ϵ_r раз:

$$U_d = U/\epsilon_r.$$

Следовательно, во столько же раз увеличится емкость C_d :

$$C_d = \epsilon_r C_0.$$

Соотношение (9) будет теперь иметь вид:

$$Q_d = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{S}{d} U. \quad (10)$$

Таким образом, при том же напряжении заряд на обкладках конденсатора при наличии диэлектрика возрастает в ϵ_r раз. Из (9) и (10) следует:

$$\frac{Q_d}{Q} = \epsilon_r. \quad (11)$$

Порядок работы

Общий вид установки представлен на [рис. 3](#).



Рис. 3. Общий вид установки

1. Соберите схему согласно рис. 3 и рис. 4. Одну пластину конденсатора C подсоедините через защитный резистор $R = 10 \text{ МОм}$ к верхнему положительному выходу высоковольтного источника питания. Высоковольтный источник питания и другая пластина конденсатора C заземляется через конденсатор $C_1 = 220 \text{ нФ}$. Установите на универсальном измерительном усилителе высокое выходное сопротивление, коэффициент усиления – "1" и постоянную времени – "0".

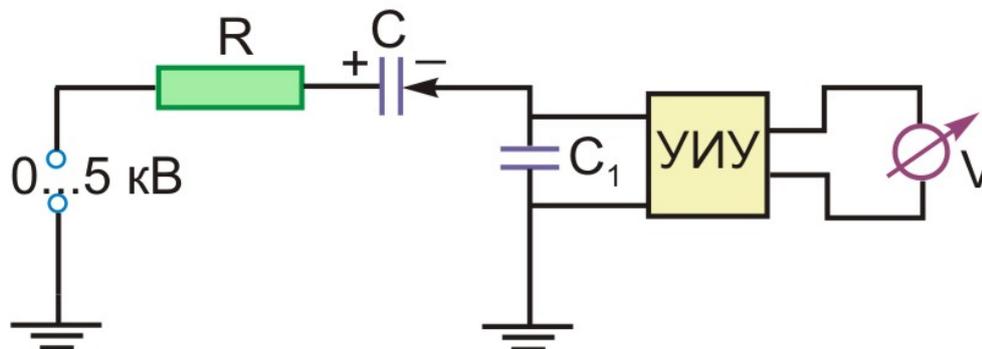


Рис. 4

2. Установите на высоковольтном источнике питания напряжение 1.5 кВ.
3. С помощью линейной шкалы, снабженной нониусом (укрепленном на подставке для конденсатора C) установите обкладки конденсатора C на расстоянии $d = 1 \text{ мм}$.
4. Меняя расстояние d от 1 мм до 4 мм (с шагом 0.5 мм), измерьте напряжение U_1 на конденсаторе C_1 (установка начального напряжения на вольтметре осуществляется нажатием кнопки на панели усилителя).
5. По формуле $Q = C_1 U_1$ вычислите заряд на конденсаторе C_1 , который равен заряду на конденсаторе C .
6. Постройте график зависимости Q от $1/d$.
7. Используя соотношение (9), вычислите электрическую постоянную ϵ_0 . Проведите статистическую обработку полученных результатов. Сравните с табличным значением ϵ_0 .
8. Закрепите между обкладками конденсатора C диэлектрическую пластину. Измерьте d .
9. Меняя напряжение U на высоковольтном источнике питания от 0.5 кВ до 4 кВ с шагом 0.5 кВ, измерьте напряжение U_1 на конденсаторе C_1 .
10. Удалите диэлектрик и при том же расстоянии d проведите измерение согласно п. 9.
11. По результатам п. 9 и 10 вычислите Q_d и Q и по формуле (11) определите значение относительной диэлектрической проницаемости ϵ_r .
12. Постройте графики зависимости Q_d от U и Q от U .
13. Повторите действия, указанные в п. 9, 10, 11 для других диэлектриков.
14. *Меняя расстояние между пластинами от 0.5 см до 5 см с шагом 0.5 см, произведите действия, указанные в п. 5, 6 и 7 и проведите анализ результатов, полученных в п. 7 и 14 для ϵ_0 .
15. *Повторите действия, указанные в п. 9, 10, 11, для того же диэлектрика другой толщины. Проанализируйте результаты.
16. *Поместите между обкладками конденсатора стеклянную пластину и пластину из диэлектрика (для которого ранее определено значение ϵ_r). Выполните измерения и вычисления согласно п. 9, 10, 11.
17. *Выведите формулу, связывающую диэлектрические проницаемости стекла из диэлектрика с эффективным значением диэлектрической проницаемости, найденным по результатам п. 17. Вычислите относительную диэлектрическую проницаемость стекла.

* Задания, помеченные звездочкой, предназначены для студентов-физиков

Индивидуальные задания

1. Для батареи конденсаторов (см. номер схемы) вычислить:

- емкость батареи (используя данные таблицы 2);
- заряд на обкладках каждого конденсатора;
- разность потенциалов для каждого из конденсаторов;
- энергию каждого конденсатора.

Считать, что разность потенциалов на всей батарее 4 В.

2. Получить формулу для напряженности поля между обкладками

- сферического;
- цилиндрического;
- плоского конденсатора и представить графически соответствующую зависимость $E(r)$.

3. Для исследуемого конденсатора с соответствующим диэлектриком вычислить (используя данные эксперимента):

- диэлектрическую восприимчивость, плотность связанного заряда, вектор поляризации;
- объемную плотность энергии электрического поля.

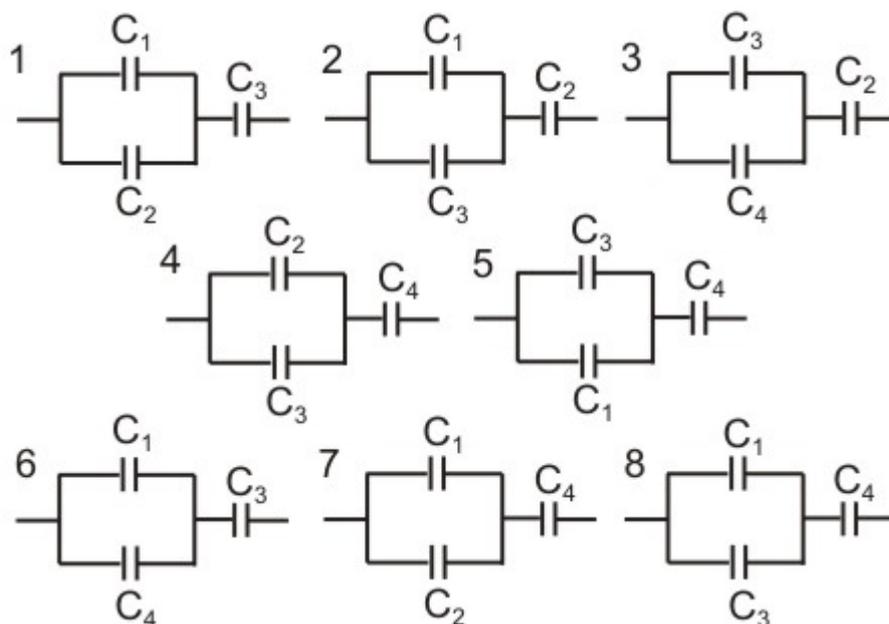


Рис. 5. Варианты соединения конденсаторов

Таблица 1. Задания

№ вариан- та	Задания		
	1	1а, б	2а
2	1а, в	2б	Диэлектрик 2, б
3	1а, г	2в	Диэлектрик 3, а
4	1а, в	2а	Диэлектрик 4, б
5	1а, б	2б	Диэлектрик 5, а
6	1а, г	2в	Диэлектрик 2, б
7	1а, в	2а	Диэлектрик 3, а
8	1а, б	2б	Диэлектрик 1, б

Таблица 2. Размеры плоского конденсатора

Конденсатор	$S, \text{ см}^2$	$d, \text{ мкм}$
C_1	244	4
C_2	254	10
C_3	1300	10
C_4	410	10

Контрольные вопросы

1. Что называется электроемкостью уединенного проводника?
2. Чем отличается определение емкости конденсатора от емкости уединенного проводника?
3. Как объяснить увеличение емкости плоского конденсатора по сравнению с емкостью уединенной пластины?
4. Получите формулы емкости плоского, цилиндрического и сферического конденсаторов.
5. Получите формулы емкости батарей параллельно и последовательно соединенных разных по емкости конденсаторов.
6. Как объяснить увеличение емкости конденсатора при заполнении пространства между его обкладками диэлектриком?
7. Какая физическая величина служит количественной мерой поляризации диэлектрика и от чего она зависит?
8. Каков физический смысл относительной диэлектрической проницаемости среды?

Список литературы

1. *Калашников С. Г.* Электричество / С. Г. Калашников. М.: Наука, 1977. – Гл. 4, 5.
2. *Фриш С. Э.* Курс общей физики / С. Э. Фриш, Б. А. Тиморева. М.: Наука, 1958. – Т. II. – Гл. 14, 15.
3. *Савельев И. В.* Курс общей физики / И. В. Савельев. М.: Наука, 1982. – Т. II. – Гл. 2, 3, 4.
4. *Зисман Г. А.* Курс общей физики / Г. А. Зисман, О. М. Тодес. М.: Наука, 1969. – Гл. 3.
5. *Детлаф А. А.* Курс физики / А. А. Детлаф, Б. М. Яворский. М.: Высшая школа, 1989. – Гл. 15, 16, 17.