

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Уфимский государственный авиационный технический университет»**

**ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ТВЕРДЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ**

**Методические указания к лабораторной работе № 38
по дисциплине «Физика»**

Уфа 2015

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Уфимский государственный авиационный технический университет»

Кафедра физики

ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТВЕРДЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ

Методические указания к лабораторной работе № 38
по дисциплине «Физика»

Уфа 2015

Составитель А. М. Афанасьева

УДК 537.226(07)

ББК 22.379(я7)

Изучение электрических свойств твердых диэлектриков: Методические указания к лабораторной работе № 38 по дисциплине «Физика» / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост. А. М. Афанасьева – Уфа, 2015. – 16 с.

Цель методических указаний – закрепление и совершенствование знаний студентов по дисциплине «Физика» и формирование умений их применять для решения научно-технических задач в теоретических и прикладных аспектах, возникающих в последующей профессиональной деятельности выпускников технического университета.

Изучают свойства твердых диэлектриков в электрическом поле. Излагается один из методов измерения относительной диэлектрической проницаемости. Приведены теория метода, описание установки, порядок выполнения работы и вопросы для самоконтроля.

Предназначены для студентов, изучающих дисциплину «Физика» по разделу «Электричество и магнетизм» на всех направлениях подготовки бакалавров и специалистов.

Табл. 2. Ил. 5. Библ.: 3 назв.

Рецензенты: канд. физ.-мат. наук, доц. Трофимова Е. В.,
д-р хим. наук, проф. Прочухан Ю. А.

Уфимский государственный
авиационный технический университет, 2015

Содержание

Введение	4
1. Цель работы.....	5
2. Задачи.....	5
3. Теоретическая часть	5
3.1. Типы диэлектриков.....	5
3.2. Поляризация диэлектриков.....	6
3.3. Электрическое поле в диэлектрике	8
4. Экспериментальная часть.....	10
4.1. Приборы и принадлежности	10
4.2. Теория метода	10
5. Требования по технике безопасности	13
6. Задания.....	13
7. Методика выполнения заданий	13
Контрольные вопросы	15
Требования к содержанию и оформлению отчета	15
Критерии результативности выполнения лабораторной работы	15
Список литературы	16

Введение

Диэлектрики представляют собой большой и очень важный для практических целей класс вещества. В основном диэлектрики применяют для изоляции проводников друг от друга. В одной только автомобильной катушке зажигания используют сразу несколько изоляторов. Часто диэлектрики выполняют роль не только изоляторов, но и элементов электро- и радиотехнических конструкций: эбонитовые, фторопластовые, керамические элементы корпусов, плат, панелей, разъемов, цоколей, фарфоровые держатели электропроводки, слюдяные прокладки между пластинами конденсаторов и т.п.

В данной лабораторной работе определяется относительная диэлектрическая проницаемость твердых диэлектриков. Изучение теории метода выполнения работы позволит студентам глубже понять особенности электрического поля в диэлектриках, что может оказаться полезным при расчете электрических цепей и поможет им в дальнейшей профессиональной деятельности.

В результате выполнения данной лабораторной работы формируются следующие **компетенции**:

- способность демонстрировать базовые знания в области общенаучных дисциплин и готовность использовать основные законы в профессиональной деятельности;

- способность проводить эксперименты по заданной методике, обрабатывать результаты, оценивать их погрешность и достоверность.

Перечисленные компетенции формируются через **умения**:

- работать с измерительными приборами;

- рассчитывать физические величины по экспериментальным данным;

- анализировать результаты опыта;

- оформлять отчет;

а также **владения**:

- теоретическим материалом;

- навыками измерения физических величин по приборам;

- технологией обработки экспериментальных данных.

Лабораторная работа № 38

ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТВЕРДЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение электрического поля в диэлектриках и определение относительной диэлектрической проницаемости твёрдых диэлектриков.

2. ЗАДАЧИ

1. Усвоение основных характеристик электрического поля в диэлектриках.

2. Овладение одним из методов измерения емкости конденсаторов и определение относительной диэлектрической проницаемости.

3. Приобретение навыков правильной эксплуатации приборов и оборудования современной физической лаборатории, обработки и интерпретации результатов эксперимента.

3. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

3.1. Типы диэлектриков

Диэлектриками называют вещества, которые при обычных условиях практически не проводят электрический ток.

Согласно представлениям классической физики, в диэлектриках в отличие от проводников, нет свободных носителей заряда – заряженных частиц, которые могли бы под действием электрического поля прийти в упорядоченное движение и образовать электрический ток проводимости.

К диэлектрикам относят все газы, если они не подвергались ионизации, некоторые жидкости (дистиллированная вода, бензол и др.) и твердые тела (фарфор, слюда и др.).

Диэлектрики подразделяют на три основные группы.

К полярным диэлектрикам (H_2O , NH_3 , CO и др.) относят вещества, молекулы которых имеют асимметричное строение, т.е. центры «тяжести» положительных и отрицательных зарядов не совпадают (положительный заряд ядер и отрицательный заряд электронов находятся в различных точках пространства). Такие

молекулы можно рассматривать как электрический диполь с электрическим моментом $\vec{p} = |q| \cdot \vec{l}$ (рис. 3.1). Вектор, направленный по оси диполя от отрицательного заряда к положительному и равный расстоянию между ними, называется плечом диполя \vec{l} . Вектор, совпадающий по направлению с плечом диполя и равный произведению заряда $|q|$ на плечо \vec{l} , называют электрическим моментом диполя или дипольным моментом.

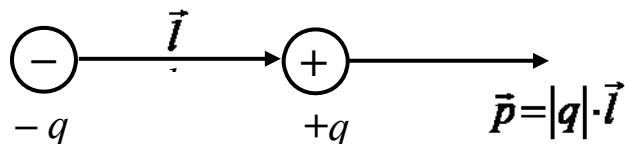


Рис. 3.1

К неполярным диэлектрикам относят вещества (N_2 , CO_2 , H_2 и др.), молекулы которых имеют симметричное строение, т.е. центры «тяжести» положительных и отрицательных зарядов совпадают, и их дипольный момент равен нулю.

Третью группу диэлектриков составляют вещества ($NaCl$, KCl , KBr и др.), молекулы которых имеют ионное строение. В таких диэлектриках дипольные моменты отсутствуют.

3.2. Поляризация диэлектриков

В отсутствие внешнего электрического поля дипольные моменты отдельных молекул диэлектриков либо равны нулю (для неполярных диэлектриков), либо вследствие теплового движения ориентированы хаотически (для полярных диэлектриков), так что в обоих случаях суммарный дипольный момент любого достаточно большого объема диэлектрика равен нулю.

Во внешнем электрическом поле диэлектрик поляризуется. Диэлектрик поляризован, если он имеет результирующий дипольный момент отличный от нуля, а дипольные моменты молекул ориентированы по полю. Механизм поляризации различен для различных диэлектриков.

Электронная поляризация возникает в диэлектриках, состоящих из неполярных молекул. Если поместить такой диэлектрик во внешнее электрическое поле, то положительные заряды будут смещаться по направлению вектора напряженности электрического

поля \vec{E} , а отрицательные – в противоположном направлении. В результате неполярные молекулы приобретут наведенный (индуцированный) дипольный момент, направленный вдоль внешнего поля, т.е. диэлектрик поляризуется (рис. 3.2). Дипольный момент молекул пропорционален напряженности внешнего поля \vec{E}

$$\vec{p} = \alpha \varepsilon \vec{E}, \quad (3.1)$$

где α – поляризуемость молекулы, зависящая только от объема молекулы.



Рис. 3.2. Электронная поляризация:
а) – внешнее поле отсутствует, б) – молекула диэлектрика
во внешнем электрическом поле

Ионная поляризация возникает в диэлектриках с ионными кристаллическими решетками. При помещении диэлектрика во внешнее электрическое поле подрешетки положительных ионов смещаются по направлению напряженности электрического поля E , а отрицательных – против поля. В результате возникают индуцированные дипольные моменты, ориентированные по полю.

В целом процессы электронной и ионной поляризации сходны между собой. Оба эти явления можно рассматривать как разновидность деформационной поляризации, представляющей собой сдвиг зарядов друг относительно друга. На деформационную поляризацию не оказывает влияния температура. Данный вид поляризации не вызывает возникновения диэлектрических потерь и отличается большой скоростью установления состояния поляризации.

Ориентационная (дипольная) поляризация диэлектрика с полярными молекулами заключается в ориентации имеющихся дипольных моментов молекул по полю. Эта ориентация тем сильнее, чем больше напряженность электрического поля и ниже температура.

Степень поляризации диэлектрика характеризуется векторной

величиной, называемой поляризованностью, которая определяется как дипольный момент единицы объема диэлектрика.

$$\vec{P} = \sum_i \vec{p}_i / V, \quad (3.2)$$

где $\sum_{i=1}^n \vec{p}_i$ – суммарный дипольный момент всех молекул диэлектрика в объеме V , \vec{p}_i – дипольный момент i -ой молекулы.

Поляризованность изотропного диэлектрика любого типа связана с напряженностью поля соотношением

$$\vec{P} = \chi \varepsilon_0 \vec{E}, \quad (3.3)$$

где χ – диэлектрическая восприимчивость вещества, ε_0 – электрическая постоянная.

Диэлектрическая восприимчивость вещества характеризует способность диэлектрика к поляризации.

3.3. Электрическое поле в диэлектрике

При внесении диэлектрика во внешнее электрическое поле E_0 происходит его поляризация, которая сопровождается появлением поверхностных зарядов на его границах (рис. 3.3). Плотность связанных зарядов σ' определяет поляризованность диэлектрика $P = \sigma'$.

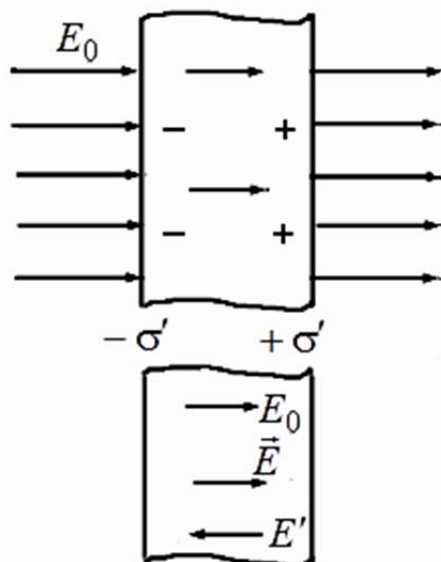


Рис. 3.3. Диэлектрик во внешнем электрическом поле

Появление связанных зарядов приводит к возникновению внутри диэлектрика дополнительного электрического поля с

напряженностью $E' = \frac{\sigma'}{\varepsilon_0}$ (поле, созданное двумя бесконечно заряженными плоскостями, т.е. гранями), которое направлено против внешнего поля E_0 , создаваемого свободными зарядами, и ослабляет его.

Результирующее поле внутри диэлектрика E меньше, чем внешнее поле E_0 .

$$E = E_0 - E' = E_0 - \frac{\sigma'}{\varepsilon_0}. \quad (3.4)$$

С учетом $P = \sigma' = \varepsilon_0 \chi E$ получим

$$E = E_0 - \chi E, \quad E = \frac{E_0}{1 + \chi} = \frac{E}{\varepsilon}. \quad (3.5)$$

Величина, показывающая во сколько раз поле в вакууме больше, чем поле в диэлектрике, называется относительной диэлектрической проницаемостью вещества $\varepsilon = \frac{E_0}{E}$. Относительная диэлектрическая проницаемость связана с диэлектрической восприимчивостью вещества $\varepsilon = 1 + \chi$. Следовательно, относительная диэлектрическая проницаемость ε характеризует электрические свойства диэлектрика, т.е. способность диэлектрика к поляризации.

Вектор напряженности \vec{E} , пересекая границу диэлектриков, претерпевает скачкообразные изменения, поскольку определяется как свободными, так и связанными зарядами. Поэтому для характеристики электрического поля в диэлектрике вводят вектор электрического смещения, который для электрически изотропной среды равен $\vec{D} = \varepsilon_0 \varepsilon \vec{E}$.

Используя (3.1) и (3.2), можно записать

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P}, \quad \text{Кл/м}^2.$$

Для вектора \vec{D} применим принцип суперпозиции полей:

$$\vec{D} = \sum_{i=1}^n \vec{D}_i, \quad \text{т.е. электрическое смещение, создаваемое в данной точке}$$

поля системой электрических зарядов, равно геометрической сумме векторов электрического смещения, создаваемого в этой точке каждым зарядом в отдельности.

Для электрического поля в диэлектрике справедлива теорема Гаусса: поток вектора электрического смещения сквозь произвольную замкнутую поверхность Φ_D равен алгебраической сумме зарядов, заключенных внутри этой поверхности,

$$\Phi_D = \int_S D_n dS = \sum_{i=1}^n Q_i.$$

Вектор электрического смещения \vec{D} характеризует электрическое поле, создаваемое свободными зарядами (т.е. в вакууме), но при таком их распределении в пространстве, какое имеется при наличии диэлектрика.

В данной работе определяется относительная диэлектрическая проницаемость твердых диэлектриков (оргстекло, текстолит, гетинакс и стекло), которая является одной из их электрических характеристик.

4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

4.1. Приборы и принадлежности

Для измерения относительной диэлектрической проницаемости применяется схема, изображенная на рис. 4.1.

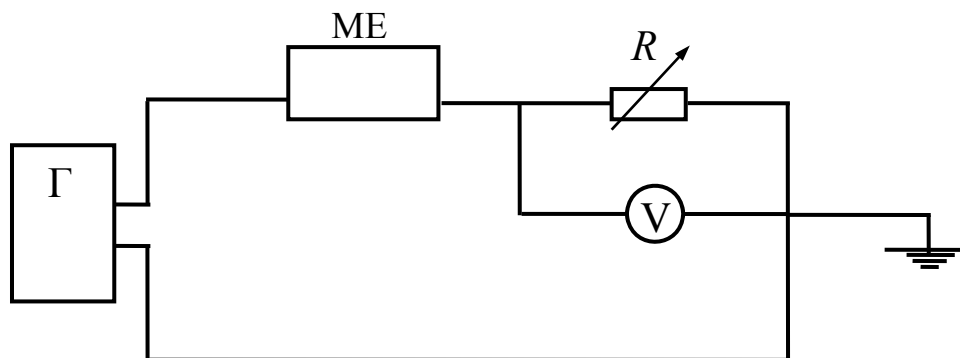


Рис. 4.1. Схема экспериментальной установки:

Г – генератор синусоидальных колебаний, МЕ – набор эталонных конденсаторов и набор исследуемых конденсаторов, R – переменное сопротивление, V – универсальный цифровой вольтметр

4.2. Теория метода

Эквивалентная схема электрической цепи для измерения относительной диэлектрической проницаемости представлена на рис. 4.2.

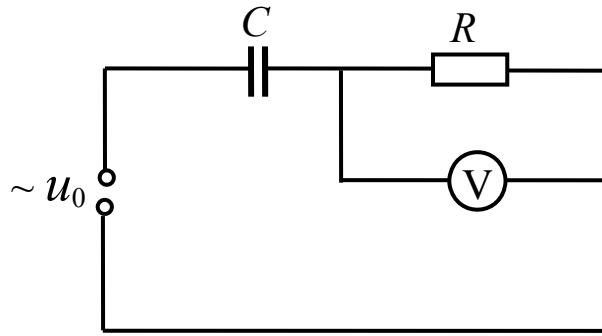


Рис. 4.2. Схема электрической цепи для измерения относительной диэлектрической проницаемости

Реактивное сопротивление конденсатора цепи переменного синусоидального тока определяется выражением

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi\nu C}, \quad (4.1)$$

где C – емкость конденсатора, ν – частота переменного напряжения (тока), $\omega = 2\pi\nu$

Величину переменного тока можно определить по закону Ома, обобщенному для цепей переменного тока:

$$I = \frac{u_0}{Z} \quad (4.2)$$

или

$$I = \frac{u_0}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}} = \frac{u_0}{R}, \quad (4.3)$$

где u_0 – напряжение на выходе генератора, Z – полное сопротивление цепи, R – активное сопротивление, u – падение напряжения на активном сопротивлении, регистрируемое цифровым вольтметром.

Возведя выражение (4.3) в квадрат получим

$$\frac{u^2}{R^2} = \frac{u_0^2}{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}, \quad (4.4)$$

откуда

$$C = \frac{u}{\omega R \sqrt{u_0^2 - u^2}}.$$

Используя формулу для расчета емкости плоского конденсатора

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d}, \quad (4.5)$$

можно получить выражение для вычисления относительной диэлектрической проницаемости

$$\varepsilon = \frac{u d}{2\pi \nu \varepsilon_0 S R \sqrt{u_0^2 - u^2}}. \quad (4.6)$$

Если величины R и C подобрать таким образом, чтобы в используемом диапазоне частот выполнялось условие

$$R \ll \frac{1}{\omega C}, \quad (4.7)$$

то значением u в подкоренном выражении соотношения (4.7) можно пренебречь, так как $u \ll u_0$.

Тогда выражение (4.7) можно упростить и представить в виде

$$\varepsilon = \frac{u d}{2\pi \nu \varepsilon_0 R u_0 S}. \quad (4.8)$$

В данной работе исследуют конденсаторы с различными твердыми диэлектриками (оргстекло, текстолит, стекло, гетинакс). Для определения емкости исследуемых конденсаторов необходимо построить градуированный график. Для этого используют эталонные конденсаторы с известной емкостью с керамическими диэлектриками (их емкость не зависит от частоты до 10^5 Гц). Значения R , ω , C выбраны так, что выполняется условие $R \ll \frac{1}{\omega C}$ ($R = 1$ кОм, $\nu = \frac{\omega}{2\pi} =$

$5 \cdot 10^3$ Гц, $C = 450 \div 1260$ пФ).

Тогда формула (4.6) упрощается и принимает вид

$$C = \frac{u}{\omega R u_0}. \quad (4.9)$$

При постоянных ω , R , u сигнал на вольтметре будет линейно зависеть от емкости C . Номера клавиш 1-4 на приборе соответствуют номерам эталонных конденсаторов в табл. 7.1, а следующие клавиши соответствуют исследуемым конденсаторам C_{oc} (оргстекло), C_T (гетинакс), C_T (текстолит), C_c (стекло).

5. ТРЕБОВАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

1. Прежде чем приступить к работе, внимательно ознакомьтесь с заданием и оборудованием.

2. Проверьте заземление лабораторной установки и изоляцию токонесущих проводов. Немедленно сообщите преподавателю или лаборанту о замеченных неисправностях.

3. Не загромождайте свое рабочее место оборудованием, не относящимся к выполняемой работе.

4. Не оставляйте без присмотра свою лабораторную установку, это может привести к несчастному случаю.

5. По окончании работ приведите в порядок свое рабочее место. Обесточьте приборы.

6. ЗАДАНИЯ

1. Измерение зависимости напряжения на обкладках эталонных конденсаторов от их емкости и построение градуированного графика $u = f(C)$.

2. Измерение напряжения на конденсаторах с исследуемыми диэлектриками и определение с помощью градуированного графика их емкости.

3. Вычисление относительной диэлектрической проницаемости исследуемых диэлектриков и сравнение полученных значений с табличными.

7. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЙ

1. Включить лабораторный стенд и приборы в сеть. Прогреть приборы в течение 5 минут.

2. Установить на выходе генератора максимальное значение выходного напряжения U_0 .

3. Установить на генераторе частоту 5000 Гц.

4. Для проведения измерения с помощью универсального цифрового вольтметра подключить кабель к гнездам u , R , O , установить тумблер «Сеть» в положение вкл., нажать кнопки $u \sim$ и АВП.

5. Подключить эталонные конденсаторы, поочередно нажимая на клавиши 1, 2, 3, 4 кассеты, измерить соответствующие значения напряжения u_1, u_2, u_3, u_4 . Показания вольтметра занести в табл. 7.1.

6. Подключить конденсаторы с исследуемыми диэлектриками, поочередно нажимая на клавиши C_{oc} , C_T , C_c , C_s кассеты, измерить соответствующие значения напряжения $u_{гт}$, u_{oc} , u_c , u_T . Показания вольтметра занести в табл. 7.2.

7. Построить градуировочный график $u = f(C)$, пользуясь табл. 7.1. Градуировочный график представляет собой зависимость напряжения эталонных конденсаторов от их емкости.

8. По градуировочному графику определить емкости конденсатора с исследуемыми диэлектриками. Результаты занести в табл. 7.2.

9. По формуле $\epsilon = \frac{Cd}{S \epsilon_0}$ рассчитать относительную

диэлектрическую проницаемость исследуемых диэлектриков. Результаты занести в табл. 7.2.

Исследуемые конденсаторы имеют следующие параметры:

площадь обкладок – $S = 165 \text{ мм}^2$,

толщина диэлектрика – $d_{oc} = 10 \text{ мкм}$ (оргстекло),

$d_T = 8,0 \text{ мкм}$ (текстолит),

$d_r = 18 \text{ мкм}$ (гетинакс),

$d_c = 10 \text{ мкм}$ (стекло).

Электрическая постоянная $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$.

Таблица 7.1

Номер конденсатора	C , пФ	u , В
1	470	
2	750	
3	1000	
4	1500	

Таблица 7.2

u , мВ				C , пФ				ϵ			
$u_{гт}$	u_{oc}	u_c	u_T	$C_{гт}$	C_{oc}	C_c	C_T	$\epsilon_{гт}$	ϵ_{oc}	ϵ_c	ϵ_T

Контрольные вопросы

1. Какие вещества называются диэлектриками?
2. Что такое электрический диполь? Как определяется его дипольный момент?
3. Какая физическая величина служит количественной мерой поляризации диэлектрика?
4. Что общего и в чем различие поляризации диэлектриков с неполярными и полярными молекулами?
5. Что называется относительной диэлектрической проницаемостью среды?
6. Какая связь существует между диэлектрическими восприимчивостью и относительной диэлектрической проницаемостью среды?
7. Почему диэлектрик ослабляет внешнее электрическое поле?
Ответ поясните с помощью рисунка.
8. Что такое поляризованность?
9. Как определяется вектор электрического смещения?

Требования к содержанию и оформлению отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Ф.И.О., номер группы студента, выполнившего работу.
2. Номер, название и цель работы.
3. Краткие основные теоретические положения.
4. Схему установки.
5. Таблицы с результатами измерений и расчетов.
6. График зависимости напряжения эталонных конденсаторов от их емкости на миллиметровой бумаге.
7. Сравнение полученных значений относительной диэлектрической проницаемости с табличными значениями из справочной литературы.
8. Выводы к работе.

Критерии результативности выполнения лабораторной работы

Лабораторная работа считается выполненной, если студент:

- усвоил основные характеристики электрического поля в диэлектриках: поляризованность, напряженность, диэлектрическая проницаемость среды, вектор электрического смещения;

- выполнил измерения зависимости напряжения на обкладках конденсаторов от их емкости;
- правильно выполнил вычисления и получил достоверные значения диэлектрической проницаемости исследуемых диэлектриков;
- составил отчет, соответствующий предъявленным к нему требованиям;
- сформулировал выводы о проделанной работе.

Список литературы

1. *Детлаф А. А., Яворский В. М.* Курс физики, – М.: Academia, 2009.
2. *Трофимова Т. И.* Курс физики, – М.: Academia, 2012.
3. *Савельев И. В.* Курс физики. Т.2. – Спб.: Изд-во Лань, 2011.

Составитель АФАНАСЬЕВА Алла Михайловна

ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТВЕРДЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ

Методические указания к лабораторной работе № 38
по дисциплине «Физика»

Подписано в печать 2015. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Nimes New Roman.
Усл. печ. л. 0,9. Уч-изд.л. 0,8. Тираж 100 экз. Заказ №
ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный
технический университет»
Редакционно-издательский комплекс УГАТУ
450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12