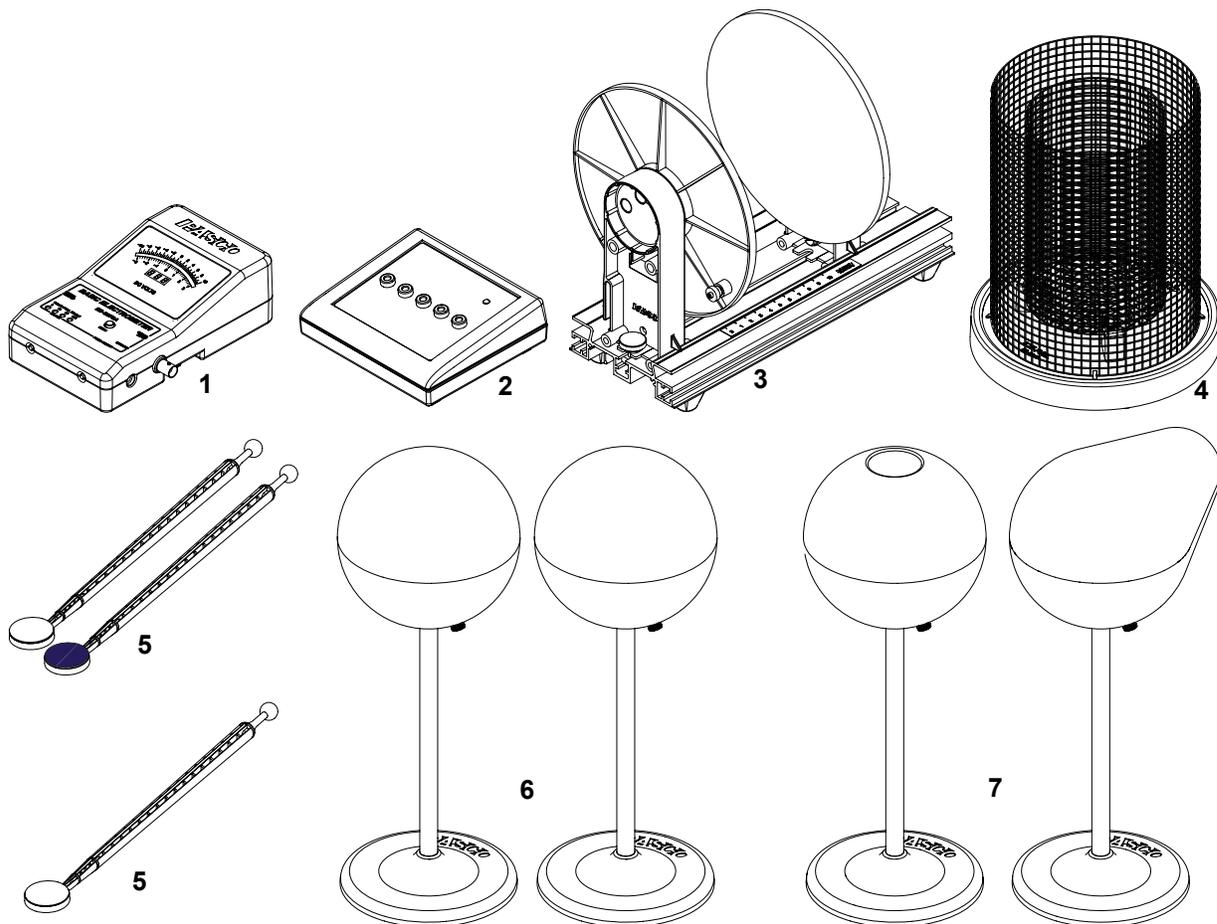


# Набор оборудования «Электростатика»

ES-9080A

## Список оборудования



Оборудование (в комплекте)	Артикул*
1. Базовый электрометр (кабели не показаны)	ES-9078A
2. Источник электростатического напряжения (кабель и блок питания не показаны)	ES-9077
3. Базовый конденсатор переменной емкости (кабель не показан)	ES-9079
4. Клетка Фарадея и экран	ES-9042A
5. Генераторы заряда (2) и пробник на изолирующей ручке (1)	ES-9075B
6. Токопроводящие сферы (2)	ES-9059B
7. Токопроводящие формы (2)	ES-9061

\*Использование артикула позволяет упростить размещение заказа на замену.

<b>Дополнительное оборудование</b>	
Интерфейс и программное обеспечение PASCO для сбора данных	См. каталог PASCO
Средство отображения эквипотенциальных поверхностей электростатического поля точечного заряда	ES-9060

## Введение

Демонстрация явления электростатики традиционно была ограничена самыми простыми опытами на элементарном оборудовании по причине недостаточного технического оснащения. Более того, традиционные способы демонстрации обычно давали скорее качественные, чем количественные результаты. PASCO попыталась исправить эту ситуацию, разработав полнофункциональный набор оборудования ES-9080A «Электростатика». Это руководство содержит пошаговые пояснения, достаточно подробные для того, чтобы учитель мог овладеть методиками демонстрации явлений. Демонстраций, рассмотренных в этом руководстве, более чем достаточно для охвата материала по электростатике, который обычно дается в рамках курса обучения.

При демонстрации явления электростатики рекомендуется придерживаться следующих принципов:

- Изучите главу «Описание оборудования» данного руководства, где содержатся сведения об использовании данного оборудования.

Расположение оборудования – приборы должны быть установлены аккуратно, на достаточном расстоянии друг от друга, чтобы учащиеся могли ясно видеть учебный стенд. Для каждой демонстрации приложена схема предлагаемой установки оборудования. Рекомендуется также использовать компьютер с интерфейсом *PASCO*<sup>®</sup>, чтобы показания электрометра (ES-9078) на экране компьютера были видны всей аудитории. (Например, можно выбрать аналоговый режим отображения, чтобы показать отклонение стрелки, или цифровой режим отображения для вывода информации о напряжении.) Если компьютера нет, установите электрометр вертикально, чтобы его показания четко читались. Всегда следует оценить, как расстановка оборудования может повлиять на распределение заряда. Например, неправильно расположенный источник питания может с легкостью изменить распределение заряда по находящейся поблизости сфере. Последний совет: всегда находитесь позади демонстрационного стола, чтобы не загромождать обзор.

- Заземление. Хотя это не всегда строго обязательно, следует обеспечить заземление демонстратора. Блуждающий заряд на демонстраторе может испортить опыт. Кроме того, электрометр должен быть заземлен, если нет конкретных указаний на обратное.

- Избегайте лишних движений. Если демонстратор ходит вокруг стола или размахивает руками, это может привести к накоплению заряда на одежде и повлиять на результаты демонстрации.
- Влажность. Электрометр PASCO сконструирован таким образом, чтобы свести влияние влажности к минимуму. Тем не менее, в особенно сырую погоду возможна утечка заряда на любом из приборов, что радикальным образом меняет распределение заряда. Для минимизации утечек следует убедиться, что оборудование очищено от пыли и жировых пятен (например, от прикосновения руками). Напротив, при малой влажности заряд с легкостью образуется на всех движущихся объектах, в том числе на людях. В этом случае следует ограничивать перемещения во время демонстрации.
- Практический опыт. Ничто не сказывается на образовательной ценности демонстрации так пагубно, как неудачный результат опыта из-за того, что демонстратор незнаком с оборудованием и процедурой.

Перед началом ряда демонстраций электростатических эффектов учащиеся (и, разумеется, учитель) должны знать изучить следующее:

- Теория и практика работы с клеткой Фарадея. (Эта тема достаточно подробно изложена в разделе «Описание оборудования» и в материалах к демонстрации 1).
- Возможное искажение плотности заряда в результате неправильного использования пробника на изолирующей ручке. (См. раздел «Описание оборудования»).
- В пластиковом изоляторе между рукоятью и диском пробника на изолирующей ручке и генераторами заряда может образовываться остаточный заряд. Обязательно заземлите эти элементы перед началом любого опыта.
- При расчете величины заряда на основе значения напряжения в электрометре необходимо учитывать емкость электрометра. (Сведения о процедуре определения емкости электрометра см. в материалах к демонстрации 3).

Следуя вышеизложенным принципам, по мере накопления опыта демонстратор сможет достичь высокой доли успешных демонстраций и великолепного образовательного эффекта от них.

## Описание оборудования

### Электрометр (ES-9078A)

Электрометр модели ES-9078A представляет собой вольтметр и служит для прямых замеров напряжения и косвенных замеров тока и заряда. Благодаря своему высокому («бесконечному») сопротивлению, равному  $10^{14}$  Ом, он особенно хорошо подходит для измерения заряда в опытах по электростатике. Электрометр обладает чувствительностью почти в тысячу раз выше, чем у стандартного листового электроскопа, шкалой с нулевым значением в центре, которая указывает полярность заряда, и цифровым экраном. Этот прибор позволяет измерять даже заряд величиной  $10^{-11}$  кулон.

Электрометр укомплектован кабелем входного сигнала (экранированным), соединительным кабелем с разъемом штекерного типа, кабелем выходного сигнала (интерфейсный) и кабелем заземления (для базового конденсатора переменной емкости ES-9079).

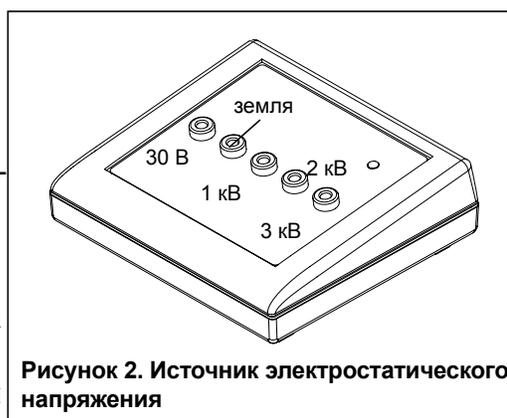
Благодаря этим характеристикам проводить демонстрации электростатических явлений станет проще, а сами они будут информативными.



Питание электрометра осуществляется от четырех алкалиновых батарей типоразмера AA (в комплекте), которые устанавливаются на задней крышке прибора. Если батареи требуют замены, один из светодиодных индикаторов выбора напряжения на передней панели медленно мигает. При замене батарей нельзя дотрагиваться до компонентов и проводов на печатной плате внутри, так как все они чувствительны к статическому пробую.

### Источник электростатического напряжения (ES-9077)

ES-9077 представляет собой высоковольтный слаботочный источник питания, предназначенный исключительно для проведения опытов по электростатике. Он оборудован портами вывода постоянного напряжения 30 В для опытов с пластиной конденсатора, а также портами вывода постоянного напряжения 1, 2 и 3 кВ для опытов с клеткой Фарадея и токопроводящими сферами. Все порты вывода, за исключением портов вывода напряжения 30 В, имеют последовательное сопротивление, которое ограничивает доступный выходной ток короткого замыкания величиной около 8,3 микроампер. Выход на 30 вольт является регулируемым, однако обеспечивает в регулируемом режиме мощность не более 1 миллиампера. В комплект входит сетевой адаптер (не показан).



### Конденсатор переменной емкости (ES-9079)

Конденсатор переменной емкости PASCO для опытов состоит из двух токопроводящих диаметром пластин 20 см, расстояние между которыми регулируется. Подвижная пластина крепится на калиброванном ползунке, позволяющим задать точное расстояние между пластинами в сантиметрах. Обе пластины оснащены прижимными винтами для подключения к электрической цепи. К фиксированной пластине прикреплены три пластиковых разделителя. Когда подвижная пластина касается их, расстояние между пластинами составляет 1 мм.

В комплект входит кабель малой емкости для соединения пластин с электрометром. Провода кабеля должны быть разведены как можно дальше друг от друга для минимизации емкостной составляющей.

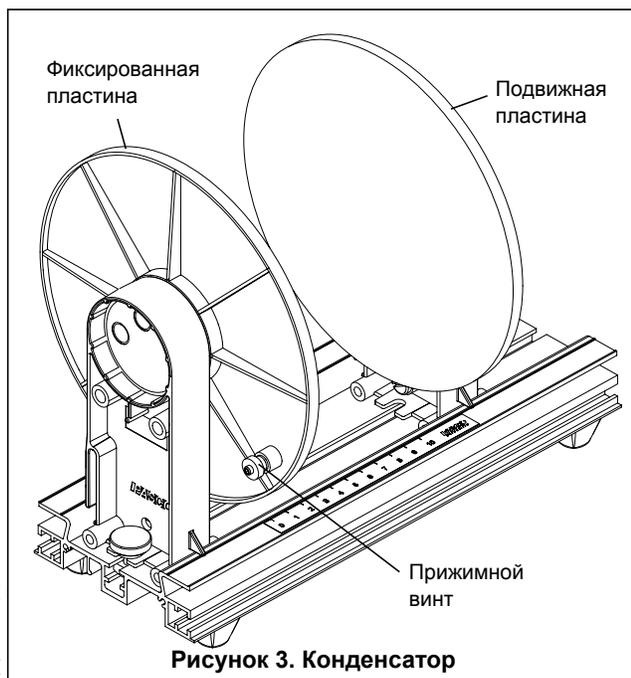


Рисунок 3. Конденсатор

Очень важно, чтобы пластины конденсатора находились параллельно друг другу. При неправильном обращении они могут отклониться от параллели. В этом случае необходимо отрегулировать пластины. На задней части подвижной пластины находится два винта для регулировки по горизонтали и вертикали.

Опоры пластин поддерживаются в чистоте для предотвращения утечки заряда с пластин.

### Генераторы заряда и пробник на изолирующей ручке (ES-9057B)

Генераторы заряда и пробник на изолирующей ручке являются электростатическими компонентами набора оборудования PASCO «Электростатика». Генераторы заряда используются для генерации заряда контактным путем. Пробник на изолирующей ручке служит для измерения плотности заряда на заряженной поверхности.

Генератор заряда состоит из двух палочек (одна из темного материала, другая – из белого), прикрепленных к токопроводящему диску (см. рис. 4). Если быстро потереть темную и белую поверхности друг о друга, белая поверхность получит положительный заряд, а темная – отрицательный.

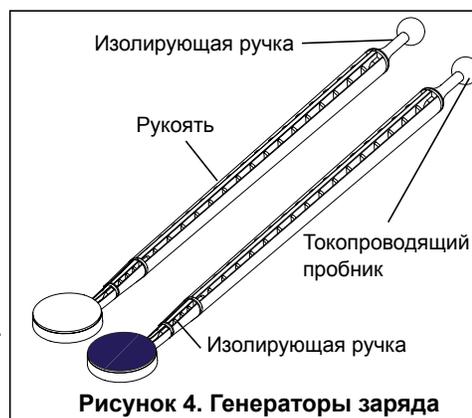


Рисунок 4. Генераторы заряда

Ниже приводятся инструкции по правильному обращению с генераторами заряда и уходу за ними. Эти инструкции важно запомнить:

- Если нужен нулевой заряд, разрядите генераторы заряда путем касания токопроводящим диском земли. Для уверенности в том, что диск полностью разряжен, подышите на изолирующую ручку. Влага от дыхания поможет удалить все блуждающие заряды.

- Избегайте касания изолирующей ручки при обычной работе. Потожировые следы от рук образуют канал для утечки заряда. При ощутимой утечке вымойте белую изолирующую ручку водой с мылом, тщательно сполоснув ее. Утечка должна прекратиться. Время от времени очищайте поверхности дисков спиртом.
- При использовании генераторов заряда в первый раз или сразу после чистки они могут производить заряд не сразу. В таком случае энергично потрите белой поверхностью токопроводящий диск пробника на изолирующей ручке.
- Генераторы заряда предназначены для использования с электрометром ES-9078. Производимого ими заряда недостаточно для стандартного электроскопа.

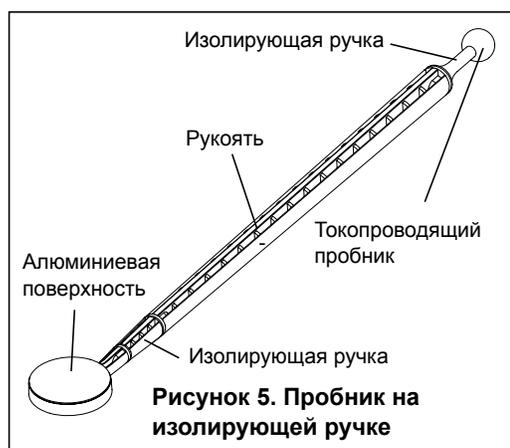
### Пробник на изолирующей ручке

Как показано на рисунке 5, пробник на изолирующей ручке представляет собой покрытый алюминием токопроводящий диск, прикрепленный к изолированной рукояти. Токопроводящий диск изготовлен из угленасыщенного черного поликарбоната (около  $10^3$  Ом) с алюминиевой поверхностью. Изолирующая ручка изготовлена из белого поликарбоната (около  $10^{14}$  Ом).

Пробник на изолирующей ручке может использоваться для отбора плотности заряда на заряженных токопроводящих поверхностях. Затем плотность заряда измеряется на пробнике на изолирующей ручке с помощью клетки Фарадея и электрометра (см. рисунок 6).

В результате касания пробником на изолирующей ручке поверхности пробник на изолирующей ручке получит то же распределение заряда, что и сегмент поверхности, которого он коснулся. Путем замера заряда на пробнике на изолирующей ручке можно определить плотность заряда на этой части поверхности. Чем больше заряд на пробнике на изолирующей ручке, тем больше плотность заряда на поверхности, с которой соприкоснулся пробник на изолирующей ручке.

Когда пробник на изолирующей ручке касается токопроводящей поверхности, он становится частью этой поверхности. Если пластина оказывает на форму поверхности значительное влияние, отбор плотности заряда будет неверным. Поэтому всегда следует касаться пробником на изолирующей ручке проводника таким образом, чтобы минимизировать искажение формы поверхности.

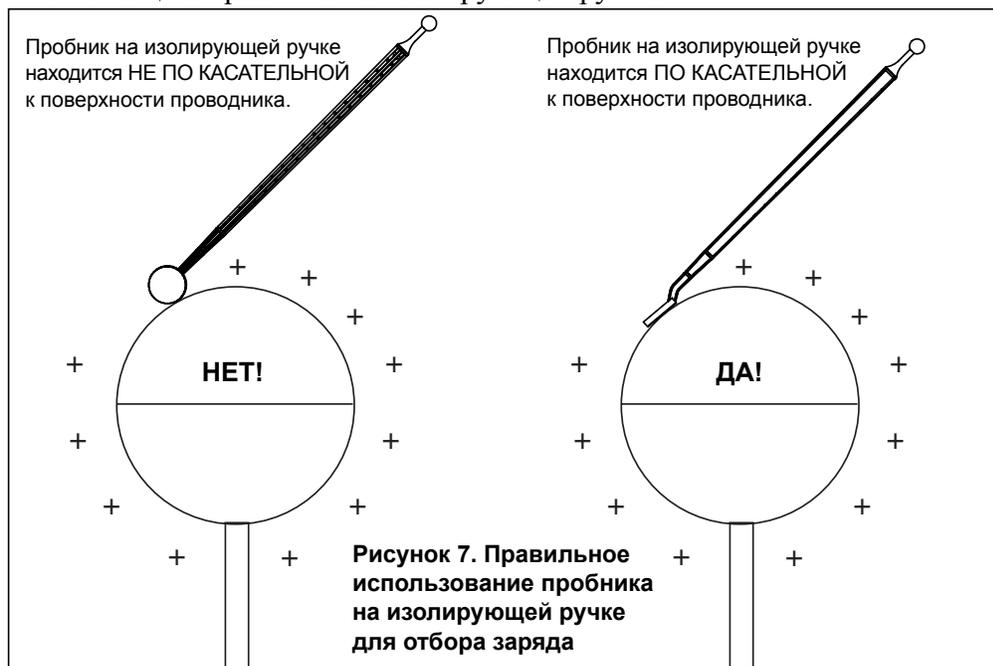


**Рисунок 5. Пробник на изолирующей ручке**



**Рисунок 6. Пробник на изолирующей ручке в клетке Фарадея**

На рисунке 7 показан рекомендуемый способ отбора заряда на токопроводящей сфере с помощью пробника на изолирующей ручке.



Для отбора плотности заряда в пустотелой сфере, (например, для токопроводящих форм ES-9061), используется токопроводящий пробник, расположенный на конце пробника на изолирующей ручке.

### Клетка Фарадея (ES-9042A)

Клетка Фарадея PASCO показана на рисунке 8. Этот прибор, изобретенный Майклом Фарадеем, действует по принципу, который гласит, что любой заряд, помещенный на внутренней поверхности, вызовет формирование эквивалентного заряда на внешней поверхности. Это устройство является замечательным средством отбора и распределения зарядов. Показанный выше вариант PASCO состоит из двух цилиндров, выполненных из проволочной сетки, которые расположены внутри друг друга на основании из формованного пластика.



Внешний цилиндр называется экраном. Он позволяет наблюдать за тем, что происходит внутри внутреннего цилиндра, и, если заземлен, позволяет предотвратить появление блуждающего заряда и поля переменного тока. Внутренний цилиндр – это собственно клетка. Клетка диаметром 10 см и высотой 15 см закреплена на изолированных стержнях. Когда внутри клетки, не касаясь ее, помещен заряженный объект, на внешней поверхности клетки наводится заряд равной величины (см. рисунок 6). Электрометр, подключенный между клеткой и экраном, обнаружит разность потенциалов. Чем больше заряд, тем выше разность потенциалов. Таким образом, хотя электрометр отображает напряжение, на базе этих значений можно косвенным образом измерить заряд.

Чтобы избежать ошибочных результатов вследствие блуждающего заряда, исключительно важно на короткое время заземлить клетку Фарадея перед началом любого опыта. Кроме того, проводящий опыт также должен быть заземлен.

В качестве заряженных объектов, опускаемых в клетку, используются генераторы заряда. Для отбора плотностей заряда служит пробник на изолирующей ручке.

### Токопроводящие сферы (ES-9059C)

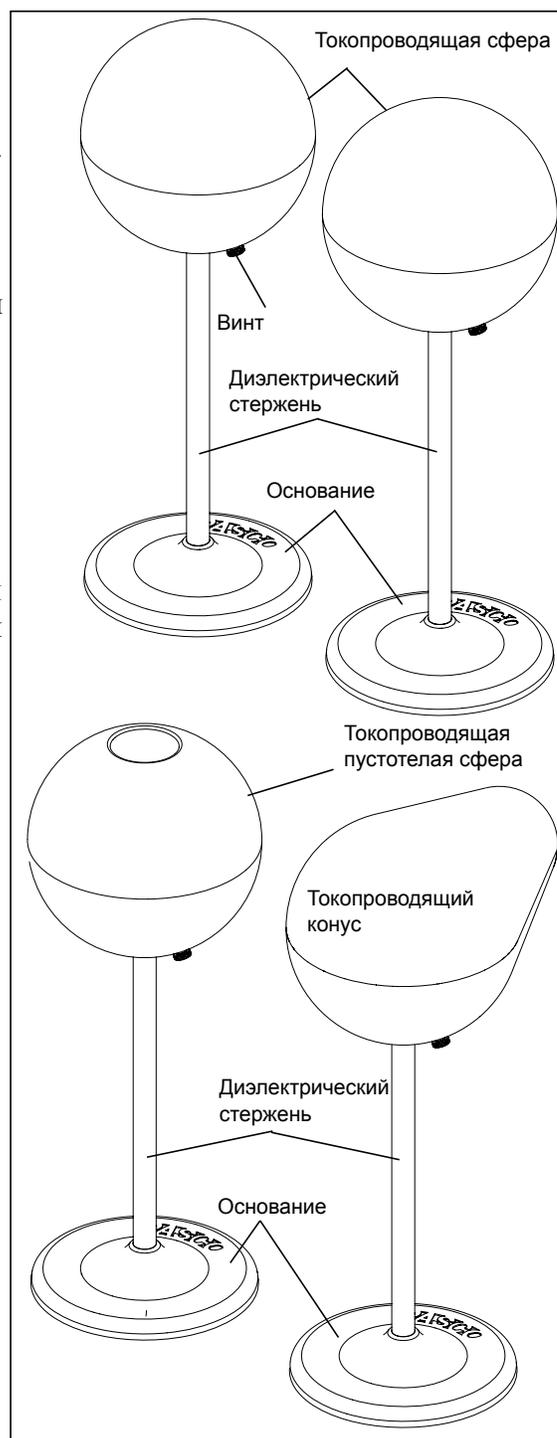
Токопроводящие сферы служат для хранения электрического заряда. Сферы диаметром 13 см изготовлены из покрытого никелем АБС-пластика. Они закреплены на диэлектрических стержнях из поликарбоната (около  $10^{14}$  Ом), прикрепленных к надежной основе. В нижней половине каждой сферы находится клемма с барашковыми винтами для подсоединения кабеля заземления или провода от источника напряжения. Сферы и изолирующие стержни нужно беречь от попадания грязи, масла и отпечатков пальцев, чтобы минимизировать утечку заряда со сферы.

### Токопроводящие формы (ES-9061)

Токопроводящие формы – специальные объекты для хранения электрического заряда. Обе формы выполнены из АБС-пластика и покрыты никелем. Токопроводящая пустотелая сфера диаметром 13 см имеет отверстие диаметром 3,8 см (1,5 дюйма) в верхней части, которое обеспечивает доступ к внутренней поверхности сферы. Токопроводящий конус с одной стороны имеет сферическую форму, а с другой – сужается в форме луковицы. Они закреплены на диэлектрических стержнях из поликарбоната (около  $10^{14}$  Ом), прикрепленных к надежной основе. В нижней половине формы находится клемма с барашковыми винтами для подсоединения кабеля заземления или провода от источника напряжения.

Токопроводящая пустотелая сфера позволяет измерить объем заряда на *внутренней поверхности* заряженной токопроводящей сферы.

С помощью токопроводящего конуса можно измерить разницу между плотностью заряда на концах формы и сравнить распределение плотности заряда на конусе и на заряженной токопроводящей сфере.



**ПРИМЕЧАНИЕ.** При работе с токопроводящими формами (а также диэлектрическими стержнями) следует беречь их от попадания грязи, замасливания и удалять следы выделений от пальцев, чтобы минимизировать утечку заряда.

Пять прижимных винтов обеспечивают соединение источника напряжения и/или электрометра с компонентами.

**ПРИМЕЧАНИЕ.** Для проверки полярности проводников в любой форме можно воспользоваться пробниками на изолирующей ручке. Тем не менее, для точности показаний плотности заряда поверхность проводника, с которой осуществляется отбор заряда, должна быть существенно больше диска пробника на изолирующей ручке и иметь относительно больший радиус кривизны в точке контакта.

## Работа с электрометром и требования к настройке

Элементы управления на передней панели электрометра поясняются на рисунке 1. Независимо того, для каких измерений применяется электрометр – измерений напряжения, тока или заряда – при каждом включении электрометра следует выполнить представленную ниже процедуру настройки.



### Предупреждение.

Для предотвращения поражения электрическим током и/или травмы, соблюдайте следующие меры безопасности:

1. Не используйте электрометр для измерения потенциалов свыше 100 вольт.
2. Не подсоединяйте электрометр к электростатическому генератору, например генератору Ван де Граафа или электрофорной машине.
3. Не прикасайтесь к проводам входного сигнала, предварительно не заземлив себя. Человек, пройдя по ковру в прохладный сухой день, может с легкостью набрать потенциал в несколько тысяч вольт.

## Настройка

1. Подключите лабораторный провод входного сигнала к BNC-соединению входного сигнала электрометра.
2. Подключите штырь заземления электрометра к цепи заземления.
3. Нажмите кнопку включения (ON). Один из светодиодных индикаторов дважды быстро мигнет.
4. Нажмите кнопку обнуления (ZERO), чтобы сбросить шкалу. Светодиод на экране со шкалой будет выровнен по метке «0», при этом на цифровом дисплее появится значение «0.0». Теперь с помощью электрометра можно измерить заряд, ток или напряжение.

5. С помощью кнопки установите напряжение в нужном диапазоне. Установка диапазона определяет входное напряжение, которое требуется для полного отклонения стрелки (например, параметр 30 означает, что при полном отклонении стрелка будет показывать напряжение 30 вольт).

На что следует обратить внимание при работе:

1. Между измерениями всегда нажимайте кнопку ZERO, чтобы разрядить весь ток в электрометре.
2. Недостаточно просто закоротить лабораторные провода. На плате электрометра могут оставаться блуждающие заряды.
3. Для получения хороших результатов важно, чтобы электрометр был подключен к цепи заземления (водопроводная труба, провод заземления в розетке 220 вольт или последовательный порт источника электростатического напряжения). Только заземление обеспечивает достаточный отвод избыточного заряда, который может образоваться в ходе проведения опыта. Также полезно заземлить человека, который проводит опыт. Достаточно дотронуться одной рукой до хорошей цепи заземления непосредственно перед измерением показателей или в ходе таких измерений.

Дополнительная информация о том, как точно снимать показания, содержится в описании демонстраций.

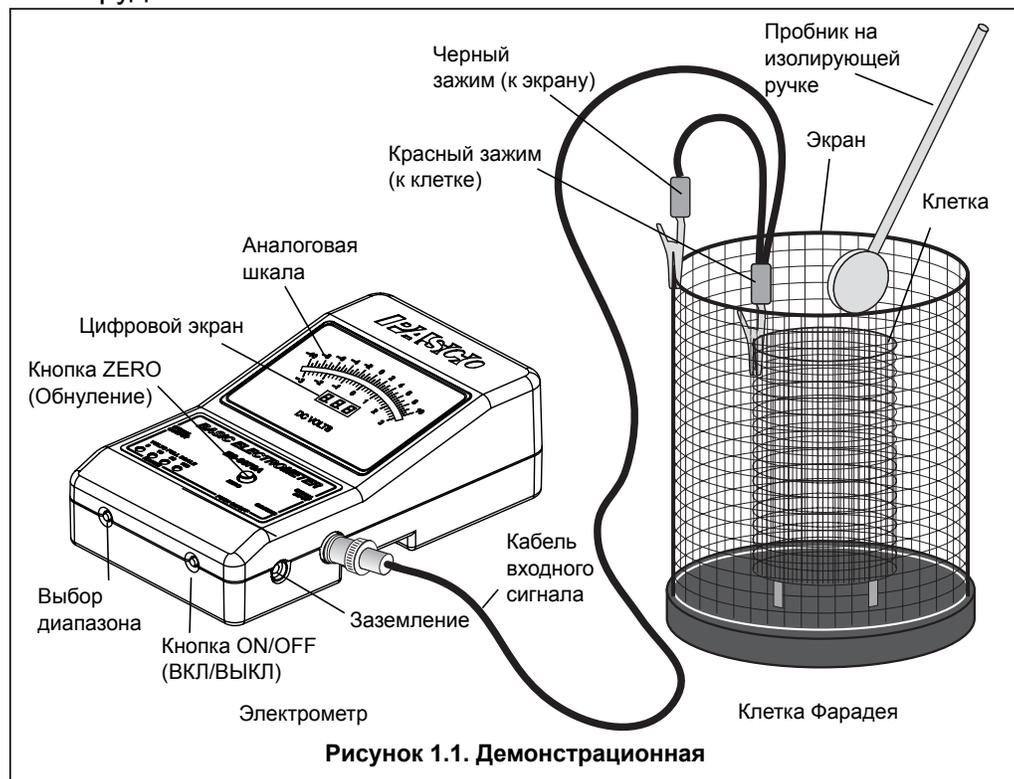
## Демонстрация 1. Клетка Фарадея и формирование заряда

<b>Необходимое оборудование:</b>	
Электрометр (ES-9078A)	Клетка Фарадея (ES-9042A)
Генераторы заряда (ES-9057B)	Кабель входного сигнала (лабораторные провода)
Цепь заземления	Пробник на изолирующей ручке (необязательно)

### Предложения по проведению опыта

Начните с демонстрации того, что электрометр измеряет непосредственно разность потенциалов, подключив к нему аккумуляторную батарею и измерив ее напряжение. Можно пояснить, что при использовании клетки заряд будет измерен косвенным образом, поскольку величина заряда пропорциональна напряжению. Показания будут выражены в вольтах, а не в кулонах. Измените полярность проводов, чтобы продемонстрировать, как светодиод прибора отклонится в противоположном направлении. Поясните, как это указывает тип заряда в клетке.

### Настройка оборудования



### Введение

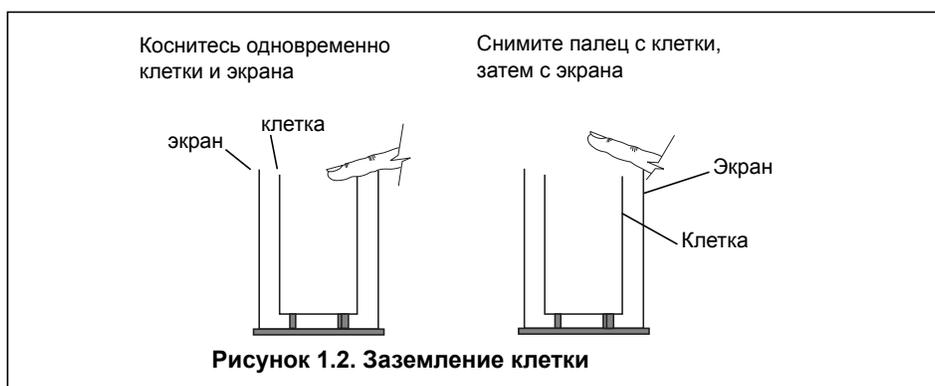
Цель данной демонстрации – показать связь между зарядом, наводимым на клетку заряженным объектом, помещенным в клетку, и зарядом этого объекта. Данная демонстрация также полезна для исследования природы зарядки объекта контактным

путем по сравнению с его зарядкой в результате индукции, а также демонстрации сохранения заряда.

Перед началом опыта с клеткой ее требуется на короткое время заземлить. Когда клетка подсоединена к электрометру, а электрометр подсоединен к заземлению, для снятия заряда и с клетки, и с электрометра достаточно нажать кнопку ZERO (Обнуление). При проведении опыта удобно поддерживать контакт с цепью заземления, держа одну руку на верхней грани экрана или подсоединившись напрямую к соединителю цепи заземления.



**ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ.** Убедитесь, что электрометр заземлен. В обратном случае заземления клетки будет недостаточно. Выполнение опытов или экспериментов с клеткой без заземления может привести к удару электрическим током или травме.



### Процедура 1А. Сравнение зарядки индукцией с зарядкой контактным способом

1. Подсоедините электрометр к клетке Фарадея (см. рис. 1.1). Убедитесь, что электрометр и клетка заземлены. При наличии заземления электрометр отображает нулевые значения, которые указывают на отсутствие заряда в клетке. Нажмите кнопку ZERO (Обнуление), чтобы полностью снять заряд с электрометра и клетки.
2. Всегда начинайте с верхнего значения диапазона напряжений (100 В) и при необходимости снижайте его. Аналоговые приборы дают наиболее точные показания в диапазоне от 1/3 до 2/3 полной шкалы.
3. В качестве заряжаемых объектов используются генераторы заряда. При заряде генераторов следует придерживаться приведенной далее общей процедуры:
  - Всегда снимайте блуждающий заряд на изолирующих ручках и рукоятках генераторов заряда, коснувшись изолирующей ручкой и рукоятью заземленного экрана. При выполнении этого действия также необходимо заземлить себя. Кроме того, помогает подышать на изолирующую ручку генератора заряда – влага от дыхания позволит снять любой остаточный заряд на изолирующей ручке.

- Потрите белую и синюю поверхности друг о друга, чтобы разделить заряды.
  - Оставьте в руке только тот генератор, который планируется использовать. Отложите другой генератор заряда в сторону таким образом, чтобы он не контактировал ни с одной из поверхностей клетки.
  - Перед помещением заряженного диска в клетку не забудьте коснуться заземленного экрана.
4. Аккуратно вставьте заряженный объект в клетку до нижней ее половины, не позволяя ему коснуться клетки. Зафиксируйте показания электрометра.
  5. Извлеките объект и снова зафиксируйте показания электрометра. Если рукоять не коснулась клетки, показания должны быть равны нулю.

Вопрос: почему разность потенциалов между клеткой и экраном наблюдалась только при наличии внутри клетки заряженного объекта?

6. Нажмите кнопку ZERO (Обнуление), чтобы снять остаточный заряд. Снова поместите в клетку объект, на этот раз коснувшись клетки. Убедитесь, что учащиеся знают и видят, что теперь вы касаетесь клетки заряженным диском.
7. Извлеките объект и зафиксируйте показания электрометра.

Вопросы: почему возникла постоянная разность потенциалов между клеткой и экраном? Откуда появился заряд на клетке?

8. Чтобы показать, что заряд, полученный клеткой, был утрачен диском, заземлите клетку, чтобы полностью снять заряд. Нажмите кнопку ZERO (Обнуление), чтобы снять остаточный заряд с электрометра. Снова поместите генератор заряда в клетку. Остался ли на нем заряд?

### Процедура 1В. Сохранение заряда

1. Потрите друг о друга белый и синий генераторы заряда, изначально лишенные заряда. Выполните общую процедуру зарядки, приведенную в части 1А за тем исключением, что в данном случае следует избегать касания генераторами любых предметов после того, как они зарядятся. (Держите их в руках, не позволяя дотрагиваться друг до друга или до клетки).
2. Измерьте с помощью клетки Фарадея величину и полярность заряда на каждом из генераторов, по очереди поместив их в клетку и зарегистрировав показания электрометра.

Вопросы:

Какова связь между величиной зарядов?

Какова связь между полярностью зарядов?

Наблюдалось ли сохранение заряда в демонстрации?

3. Полностью снимите заряд с генераторов, заземлив их. Не забудьте также снять блуждающий заряд с изолирующих ручек и рукоятей.
4. Поместите генераторы заряда в клетку и потрите ими друг о друга. Зафиксируйте показания электрометра. Не позволяйте генераторам заряда коснуться клетки.
5. Извлеките один генератор заряда и зафиксируйте показания электрометра. Замените генератор заряда и извлеките другой генератор. Зафиксируйте показания электрометра. Опираясь на величину и полярность показателей, разъясните принцип сохранения заряда.

#### Дополнительные возможности

1. Попробуйте повторить процедуру 1А, используя пробник с другим по знаку зарядом.
2. Попробуйте потереть белый генератор заряда о пробник на изолирующей ручке, затем измерьте величину и полярности полученных зарядов.
3. Попробуйте потереть синий генератор заряда о пробник на изолирующей ручке. Измерьте величину и полярность полученных зарядов.
4. Создайте список материалов, в котором материал, стоящий в выше по списку, если потереть его о материал ниже по списку всегда бы получал положительный заряд.

## Демонстрация 2. Распределение заряда

<b>Необходимое оборудование:</b>	
Электрометр (ES-9078A)	Клетка Фарадея (ES-9042A)
Источник электростатического напряжения (ES-9077)	Пробник на изолирующей ручке
Токопроводящие сферы, 13 см (ES-9059B) (2)	Кабель входного сигнала (лабораторные провода)
Заземление (соединительный кабель)	Токопроводящие формы (ES-9061)

### Настройка оборудования

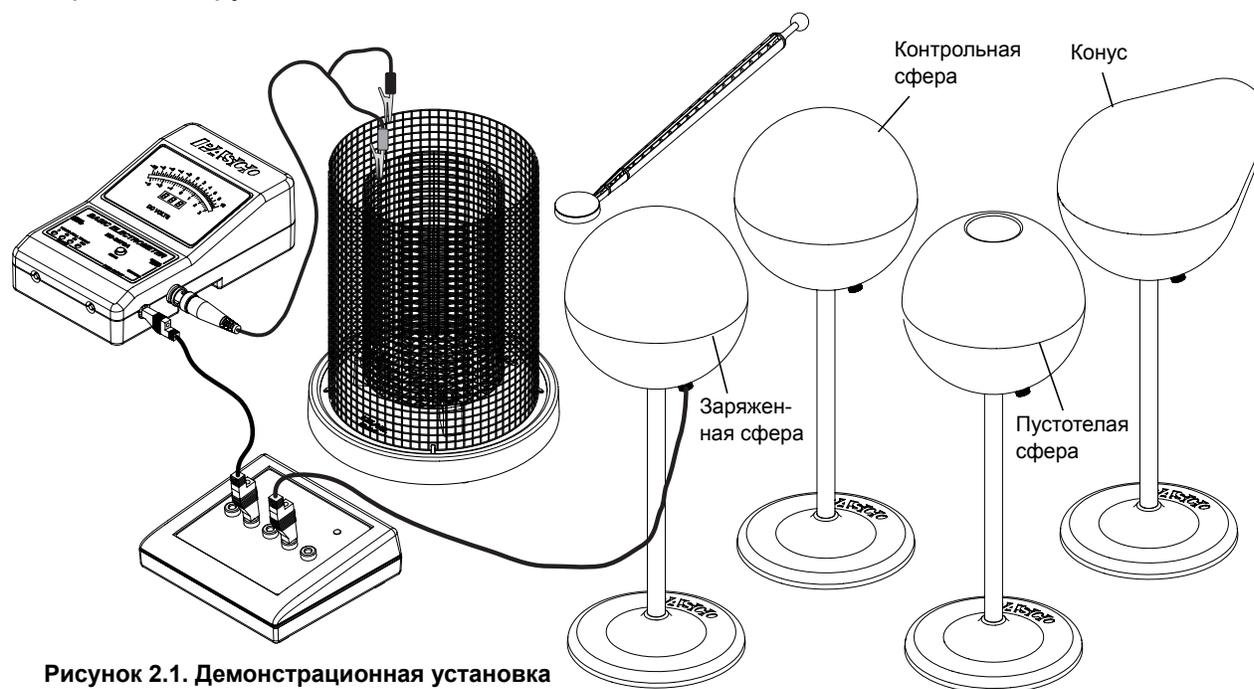


Рисунок 2.1. Демонстрационная установка

### Введение

Цель данной демонстрации – показать путь распределения заряда по поверхности путем измерения отклонений в плотности заряда. Заряд с заряженной поверхности отбирается с помощью пробника на изолирующей ручке. Затем пробник на изолирующей ручке помещается в клетку Фарадея для измерения заряда. Путем отбора заряда в разных областях поверхности можно выявить относительную плотность заряда. Например, можно понять, что заряд в двух областях поверхности проводника равного размера может отличаться по величине или даже по знаку. Такое происходит при неравномерном распределении заряда. Можно также наблюдать, что во всех точках поверхности заряд имеет одинаковые величину и знак. Это наблюдается при равномерном распределении заряда.

Важный аспект измерения распределения заряда – сохранение заряда. Пробник на изолирующей ручке частично снимает заряд с проверяемой поверхности. Если заземлять пробник на изолирующей ручке после каждого замера, заряд на поверхности будет исчерпан при последующих измерениях. Напротив, если не заземлять пробник на изолирующей ручке (и не касаться им клетки), заряд на поверхности не истощается. Заряд, снятый пробником на изолирующей ручке за одно измерение, всегда возвращается на поверхности при следующем отборе.

**ПРИМЕЧАНИЕ.** *Когда диск пробника на изолирующей ручке касается проверяемой поверхности, он становится частью этой поверхности. Чтобы минимизировать искажение формы поверхности при отборе проб, удерживайте пробник на изолирующей ручке плоско прижатым к поверхности в соответствии с указаниями раздела инструкций по оборудованию. Информацию о работе с пробниками на изолирующей ручке см. в инструкциях по оборудованию.*

Процедура:

1. Перед началом опыта убедитесь, что клетка Фарадея правильно заземлена, то есть экран подсоединен к цепи заземления. Электрометр, подключенный к клетке, также должен быть заземлен (например, путем подсоединения к разъему СОМ источника электростатического напряжения). Соберите установку (см. рис. 2.1), подсоединив черный провод к верхней грани экрана, а красный провод – к верхней грани клетки.
2. Расположите две токопроводящих сферы на расстоянии минимум 50 см друг от друга. Подключите одну из сфер к разъему источника электростатического напряжения (ES-9077) с постоянным напряжением 2000 В. Источник напряжения должен быть заземлен на ту же цепь заземления, что экран и электрометр. (Цепью заземления для системы служит блок питания источника электростатического напряжения с сетевым адаптером). Подсоединенная сфера будет использоваться как заряженное тело.
3. На короткое время заземлите другую сферу, чтобы снять с нее остаточный заряд.
4. В начале демонстрации измерьте и запишите заряд в нескольких разных точках контрольной сферы (сфера, заземленная на шаге 2). Следует выбрать точки со всех сторон, чтобы получить общую картину поверхности.
5. Теперь поднесите сферу, заряженную от источника постоянного напряжения 2000 В, к заземленной сфере на расстояние примерно 1 см между поверхностями. Включите источник напряжения (ON), затем измерьте и запишите значения заряда в тех же точках, что на предыдущем шаге.
6. На короткое время снова заземлите контрольную сферу, прикоснувшись одной рукой к заземленному экрану клетки, а другой – к сфере. (Перед этим убедитесь, что клетка заземлена). Снова измерьте и запишите значения заряда в тех же точках, что на предыдущем шаге.

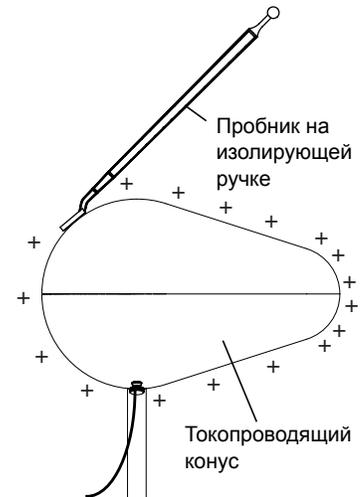
7. Отодвиньте сферу, заряженную от источника постоянного напряжения 2000 В, на расстояние не менее 50 см от контрольной сферы. Снова измерьте и запишите значения заряда в тех же точках, что на предыдущем шаге.

### Анализ

1. Что обусловило распределение заряда на каждом шаге опыта?
2. Почему заряд остался на второй сфере даже после ее заземления?

### Токопроводящий конус

1. Снимите две токопроводящие сферы. Подключите один из токопроводящих конусов к разъему источника электростатического напряжения с постоянным напряжением 2000 В.
2. С помощью пробника на изолирующей ручке выполните отбор заряда на большем закругленном конце, а затем – на узком конце.

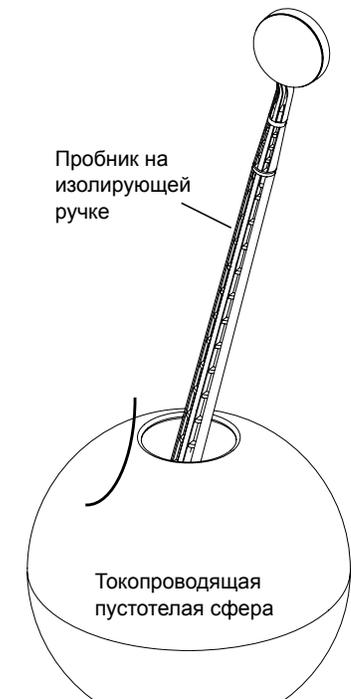


### Анализ

1. На каком из концов конуса имеется более высокая плотность заряда?
2. Почему?

### Токопроводящая пустотелая сфера

1. Снимите токопроводящий конус. Подключите одну из пустотелых сфер к разъему источника электростатического напряжения с постоянным напряжением 2000 В.
2. С помощью пробника на изолирующей ручке выполните отбор заряда на внешней поверхности сферы. Затем с помощью токопроводящего пробника, расположенного на конце пробника на изолирующей ручке выполните отбор заряда на внутренней поверхности сферы.



### Анализ

1. Как соотносятся заряды на внешней и внутренней поверхностях пустотелой сферы?

### Дополнительные возможности

1. Чтобы показать, что проводник всегда находится на внешней поверхности, согните гибкий лист металла в цилиндр. Зарядите цилиндр и измерьте плотность заряда на внутренней и внешней поверхностях. Обратите внимание, что заряд всегда находится на внешней поверхности.

2. Чтобы показать влияние формы поверхности на плотность заряда, соедините два пробника на изолирующей ручке таким образом, чтобы они были симметричны относительно точки касания. Измерьте заряд на каждой пластине. Теперь соедините их асимметрично и снова измерьте заряд на каждой. Выше ли заряд на одной пластине, чем на другой? На какой из них? (Не забудьте снять блуждающий заряд с изолирующих ручек и рукоятей во избежание ошибочных показаний).

## Демонстрация 3. Емкость и диэлектрики

<b>Необходимое оборудование:</b>	
Электрометр (ES-9078A)	Клетка Фарадея (ES-9042A)
Генераторы заряда (ES-9057B)	Пробники на изолирующей ручке (ES-9057B)
Источник электростатического напряжения (ES-9077)	Кабель входного сигнала (лабораторные провода)
Токопроводящие сферы 13 см (2) (ES-9059B)	Конденсатор переменной емкости (ES-9042A)
Конденсатор (около 30 пФ) (ES-9043)	Лист диэлектрического материала (Варианты см. в таблице 3.1)

### Введение

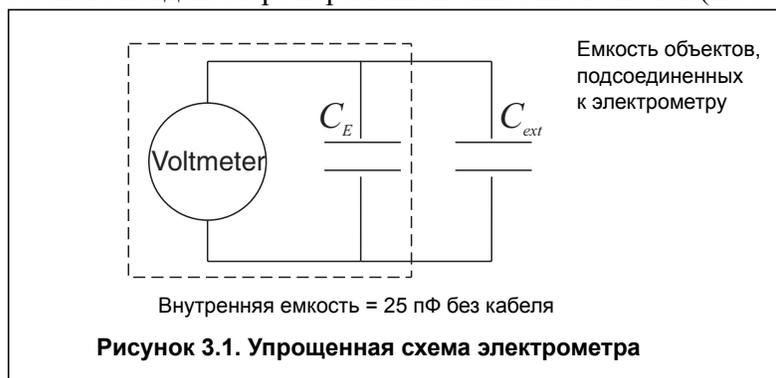
Цель этой серии демонстраций – показать связь между зарядом, напряжением и емкостью для конденсатора с параллельными пластинами. Значения постоянных и переменных параметров последовательно изменяются, оказывая влияние на результаты измерений.

Емкость конденсатора с параллельными пластинами определяется по формуле  $C = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d}$ , где  $\epsilon$  – диэлектрическая проницаемость,  $S$  – площадь пластины, а  $d$  – расстояние между пластинами. Между пластинами можно помещать различные материалы для измерения их коэффициента диэлектрической проницаемости.

**ПРИМЕЧАНИЕ.** На этом этапе учащиеся должны понимать теорию соединенных параллельно конденсаторов. В обратном случае следует перейти к процедуре  $D$  данной демонстрации.

Для всех экспериментов электрометр можно представить как вольтметр с неограниченным сопротивлением, подключенный параллельно конденсатору (см. рис. 3.1). Конденсатор  $C_E$  представляет внутреннюю емкость электрометра плюс емкость проводов.

При количественных измерениях заряда, напряжения или емкости необходимо учитывать влияние внутренней емкости электрометра, если вы не уверены, что используемый конденсатор обладает достаточно большой емкостью, чтобы пренебречь  $C_E$ . При использовании базового конденсатора переменной емкости это не так (ES-9079).



### Процедура 3А. Измерение емкости электрометра

Эта процедура позволяет точно измерить емкость, добавляемую электрометром и всеми подключенными к нему кабелями. Если нужны опыты с качественными, а не количественными результатами, в этой процедуре нет необходимости.

Когда конденсатор  $C$  заряжен известным напряжением  $V$ , заряд в нем определяется формулой  $Q=CV$ .

Если конденсатор с известным зарядом соединен проводами с электрометром, он имеет параллельное соединение с внутренней емкостью электрометра,  $C_E$ . Общая емкость рассчитывается по формуле  $C + C_E$ .

Конденсатор известной емкости разряжается через электрометр, при этом считывается напряжение  $V_E$ . Поскольку общий заряд в системе по-прежнему является зарядом конденсатора известной емкости, мы знаем, что  $CV=(C + C_E)V_E$ .

1. Возьмите конденсатор с низкой утечкой (с полипропиленовым или воздушным диэлектриком) известного значения  $C$ , около 30 пикофарад (пФ).
2. Зарядите этот конденсатор известным напряжением  $V$ , не выше 100 В (предел электрометра).
3. Отсоедините заряженный конденсатор от источника питания, который использовался для его заряда, проявляя осторожность, чтобы не коснуться цепи заземления и не снять заряд.
4. Подсоедините заряженный конденсатор к входным проводам электрометра. Обратите внимание на напряжение  $V_E$ , которое отображается электрометром.
5. Рассчитайте внутреннюю емкость электрометра.

$$C_E = \frac{(V - V_E)}{V} C$$

### Процедура 3В. Измерение $C$ , $V$ и $Q$ для конденсатора с параллельными пластинами

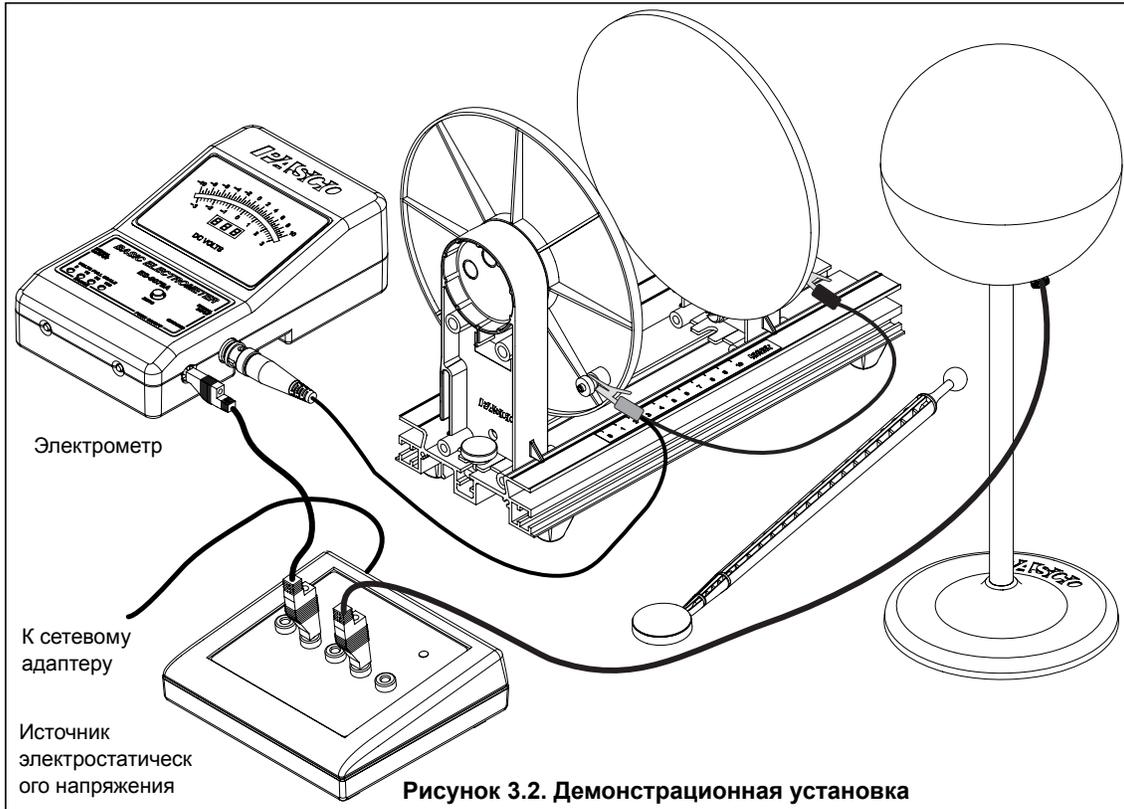
Цель опытов, представленных в этом разделе, состоит в исследовании количественных показателей связи между  $C$ ,  $V$  и  $Q$  для конденсатора с параллельными пластинами.

Показания электрометра должны использоваться как относительные. Электрометр можно подключить к компьютеру и использовать с интерфейсом *PASCO*<sup>®</sup>, чтобы получить графическое представление информации.

#### 3В.1: Измерение $V$ , переменное $Q$ , постоянная $C$

1. На рисунке 3.2 показана конфигурация оборудования. Базовый конденсатор переменной емкости подсоединен к электрометру. Электрометр соединен с землей (например с разъемом *COM* источника электростатического напряжения). Одна из сфер подсоединена к разъему источника напряжения с постоянным напряжением 2000 В. Обратите внимание, что конденсатор должен находиться достаточно далеко

от сферы и источника напряжения, чтобы предотвратить явление электростатической индукции.

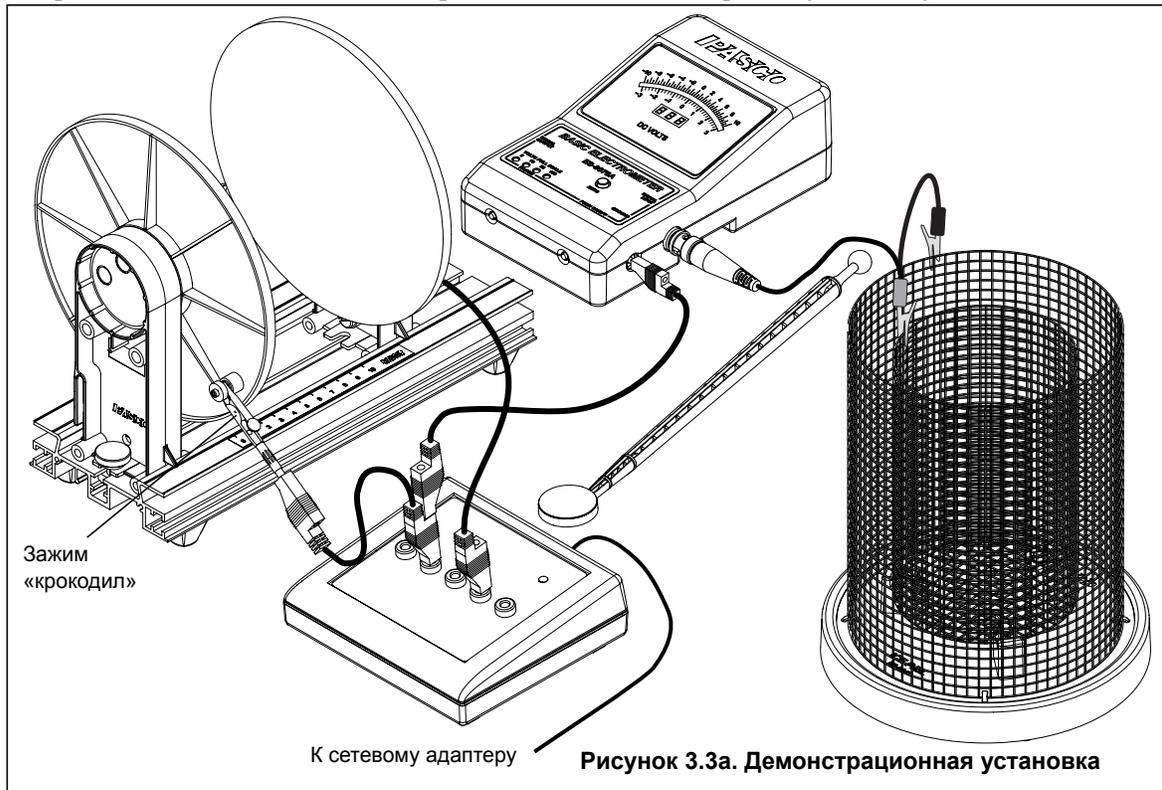


2. Нажмите кнопку **ZERO** (Обнуление), чтобы снять весь остаточный заряд с электрометра и пластин конденсатора.
3. Установите расстояние между пластинами равным примерно 2 мм. Перенесите заряд с заряженной сферы на пластины конденсатора с помощью пробника на изолирующей ручке. Для переноса заряда достаточно коснуться пробником на изолирующей ручке сферы, а затем пластины конденсатора. Если всегда касаться сферы и пластины конденсатора в одном месте, каждый раз будет переноситься заряд одинаковой величины.

Вопрос. Почему достаточно коснуться только одной пластины конденсатора?

4. Обратите внимание, как меняются показания разности потенциалов на электрометре по мере увеличения заряда на конденсаторе.

5. Удвойте расстояние между пластинами до 4 мм и повторите процедуру. Что теперь произошло с потенциалом? Сравните значения с предыдущим случаем.

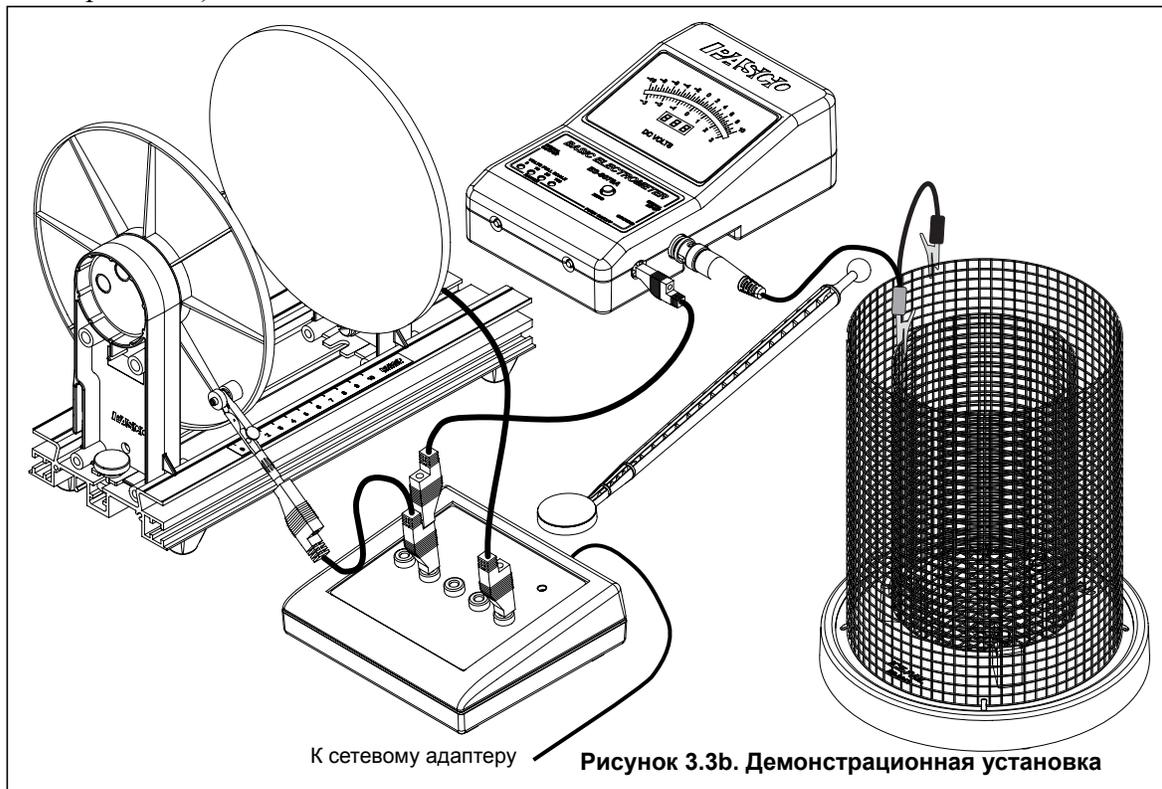


### ЗВ.2: Измерение $Q$ , переменная $C$ , постоянное $V$

1. На рисунке 3.3а показана конфигурация оборудования. Базовый конденсатор переменной емкости имеет начальное расстояние между пластинами, равное 6 см и подсоединен к разъему источника напряжения с постоянным напряжением 2000 В. Клетка Фарадея подсоединена к электрометру, который соединен с землей (например, через разъем COM источника электростатического напряжения).
2. Кратковременно заземлите пробник на изолирующей ручке, а затем с его помощью исследуйте плотность заряда конденсатора, используя для измерения заряда клетку Фарадея. Исследуйте плотность заряда в различных точках на пластинах – как на внутренней, так и на внешней поверхности. Как меняется плотность заряда в зависимости от места?
3. Выберите точку рядом с центром одной из пластин конденсатора и измерьте плотность заряда в этой области при различном расстоянии между пластинами. (Следует помнить, как меняется емкость при перемещении пластин – увеличивается или уменьшается.) Как меняется заряд по мере изменения емкости?

### 3В.3: Измерение $Q$ , переменное $V$ , постоянная $C$

1. На рисунке 3.3b показана конфигурация оборудования, которая идентична конфигурации для опыта В2. Конденсатор переменной емкости имеет начальное расстояние между пластинами равное 6 см и подсоединен к разъему источника напряжения с постоянным напряжением 3000 В. Клетка Фарадея подсоединена к электрометру, который соединен с землей (например, через разъем COM источника напряжения).



2. При постоянном расстоянии между пластинами меняйте потенциал между ними, регулируя настройку источника напряжения. Нужно переключить соединительный кабель с разъема +3000 В на разъем +2000 В. Исследуйте плотность заряда рядом с центром пластины конденсатора. Как меняется заряд по мере изменения напряжения? Повторите процедуру при постоянном напряжении 1000 В.

### 3В.4: Измерение $V$ , переменная $C$ , постоянное $Q$

1. На рисунке 3.4 показана конфигурация оборудования. Конденсатор переменной емкости подсоединен к электрометру, который заземлен (через разъем COM источника

напряжения). Источник напряжения используется для моментальной зарядки конденсатора.

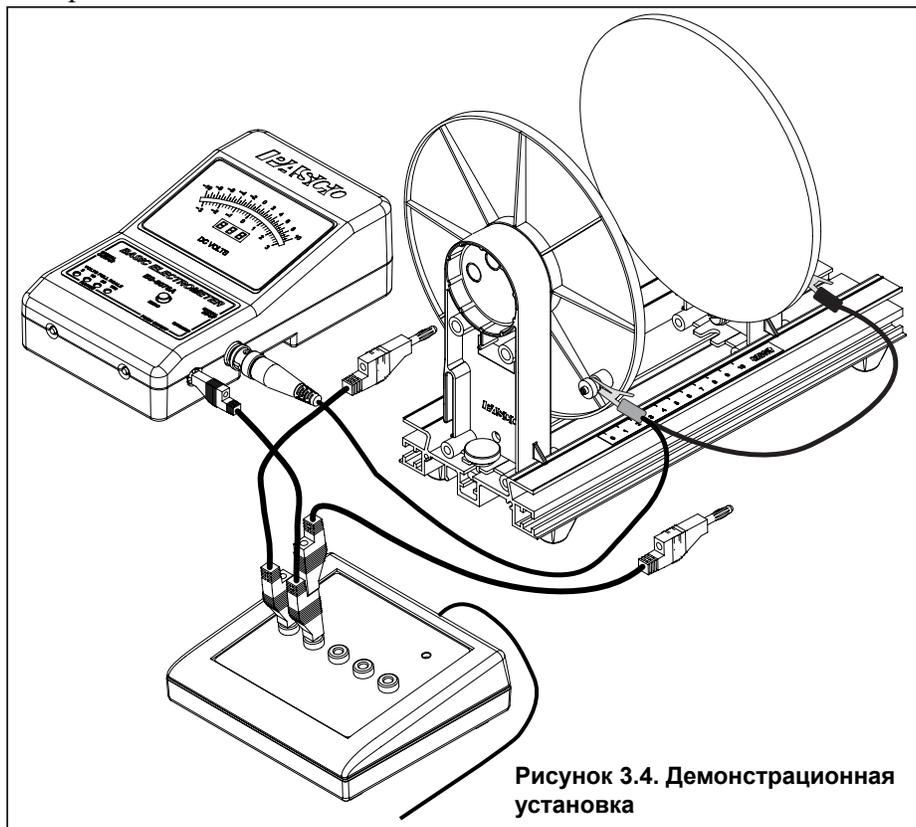


Рисунок 3.4. Демонстрационная установка

2. При расстоянии между пластинами, равном 2 мм, зарядите их, на краткое время подключив к источнику напряжения (с постоянным напряжением 30 В). Отрегулируйте чувствительность шкалы электрометра таким образом, чтобы изначально заряженные пластины давали показания стрелки примерно на 1/5 шкалы.
3. Увеличьте расстояние между пластинами, наблюдая за показаниями электрометра при разных значениях расстояния. Как меняется потенциал по мере изменения емкости?

**ПРИМЕЧАНИЕ.** Альтернативный способ – зарядить одну из сфер, а затем перенести определенный заряд на конденсатор. При этом заряд не будет таким большим.

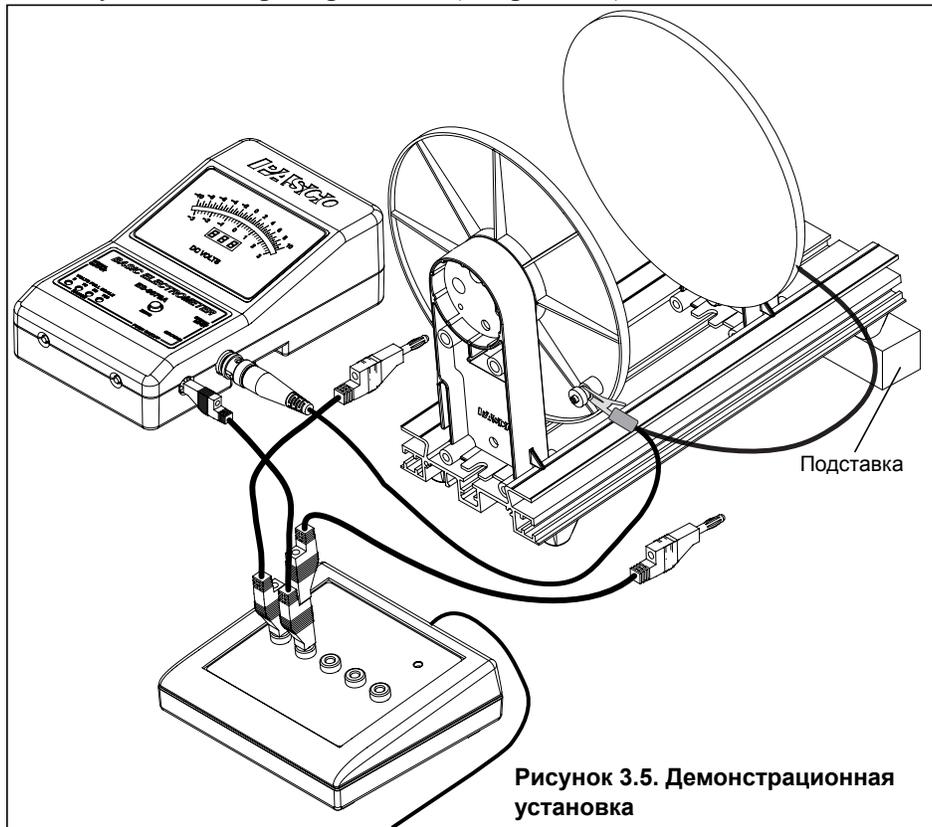
### Процедура 3С. Коэффициенты диэлектрической проницаемости

Диэлектрическая проницаемость  $k$  является безразмерным коэффициентом, на который увеличивается емкость при помещении диэлектрика между пластинами (относительно значения емкости до использования диэлектрика). Это фундаментальное свойство диэлектрического материала, которое не зависит от размера или формы конденсатора. В таблице 3.1 приводятся значения диэлектрической проницаемости для ряда распространенных материалов.

Идеальная процедура измерения  $\kappa$  – просто вставить кусок диэлектрического материала между пластинами заряженного конденсатора и изучить изменение потенциала. Однако при вставке диэлектрика между пластинами конденсатора, которые расположены слишком близко друг от друга, может образоваться существенный статический заряд, способный изменить наблюдаемые результаты. Поэтому лучшим способом является следующий:

**ПРИМАЧАНИЕ.** В зависимости от модели конденсатора с параллельными пластинами может перемещаться только одна пластина. Если в вашей модели можно двигать обе пластины, зафиксируйте одну из них, а вторую используйте как подвижную.

1. Подсоедините электрометр к пластинам конденсатора и установите расстояние между пластинами равным примерно 3 мм.
2. Поднимите сторону установки, ближайшую к подвижной пластине, установив под нее подставку высотой примерно 3 см (см. рис. 3.5).



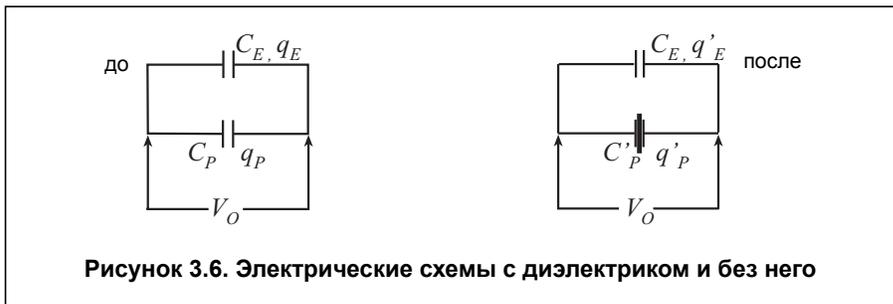
3. Коснитесь пластин выводами источника напряжения и зарядите их до показаний стрелочного датчика на 4/5 от полной шкалы. Запишите значения напряжения вольтметра,  $V_i$ .
4. Аккуратно увеличьте расстояние между пластинами, чтобы его хватило для свободной вставки диэлектрической прослойки. Расстояние должно быть таким, чтобы достаточно было просто прислонить лист диэлектрика к неподвижной

пластине. Перед вставкой диэлектрика убедитесь, что на нем отсутствует остаточный заряд.

5. После вставки диэлектрика верните пластины к исходному расстоянию между ними в 3 мм и зарегистрируйте новые показания электрометра,  $V_f$ .
6. Снова раздвиньте пластины и аккуратно извлеките лист диэлектрика.
7. Верните пластины к исходному расстоянию между ними в 3 мм и убедитесь, что показания электрометра равны первоначальным показаниям  $V_i$ .

## Анализ

Расчеты, требуемые для определения диэлектрической постоянной, достаточно длинны, но при этом просты:



### Перед вставкой диэлектрика...

Пусть  $q_p$  – это заряд на пластинах конденсатора, а  $C_p$  – емкость пластин без диэлектрика.

Пусть  $q_E$  – заряд на  $C_E$ , внутренней емкости электрометра.

Пусть  $V_i$  – исходные показания электрометра.

В этой исходной системе общий заряд определяется формулой  $q_p + q_E = (C_p + C_E)V_i$

### После вставки диэлектрика...

Пусть  $q'_p$  – новый заряд на пластинах конденсатора; теперь емкость составляет  $C'_p$ .

Пусть  $q'_E$  – новый заряд на  $C_E$ , внутренней емкости электрометра. Поскольку в  $C_E$  отсутствует диэлектрик, ее значение осталось прежней.

Пусть  $V_f$  – новые показания электрометра.

Общий заряд в системе после вставки диэлектрика рассчитывается по формуле

$$q'_p + q'_E = (C'_p + C_E)V_f$$

Общий заряд в системе не менялся, поэтому

$$q_p + q_E = q'_p + q'_E$$

$$\text{и } (C_p + C_E)V_i = (C'_p + C_E)V_f.$$

Применив алгебраические преобразования, найдем, что

$$\frac{C'_p}{C_p} = \frac{C_E(V_i - V_f) + C_p V_i}{C_p V_f}$$

где коэффициент  $C'_p/C_p$  является значением диэлектрической проницаемости  $\kappa$ :

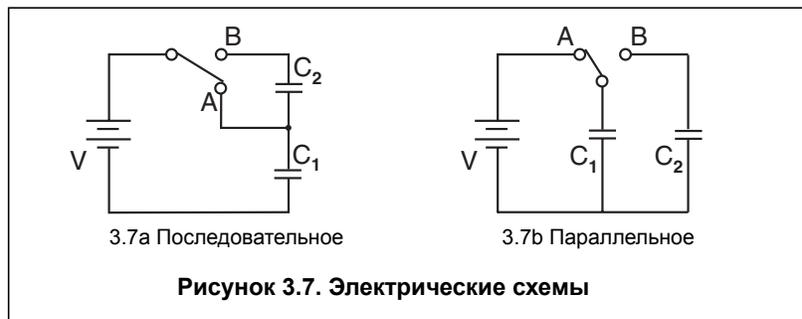
$$\kappa = \frac{\varepsilon A_d}{\varepsilon_0 A_d} = \frac{C'_p}{C_p}$$

Таблица 3.1. Значения диэлектрической проницаемости

Материал	$\kappa$
Вакуум	1
Воздух	1,00059
Полистирен	2,6
Бумага	3,7
Пирекс	4,7
Слюда	5,4
Фарфор	6,5

### Процедура 3D. Последовательное и параллельное подключение конденсаторов

Цель данной демонстрации – показать влияние последовательного и параллельного подключения конденсаторов. Потребуется два конденсатора известной емкости (от 200 до 400 мкФ, чтобы можно было пренебречь внутренней емкостью электрометра), источник питания постоянного напряжения, электрометр, кабели и двухпозиционный переключатель.



### 3D.1. Последовательное подключение конденсаторов

Перед подключением конденсаторов убедитесь, что они лишены заряда. (Закоротите их по очереди недлинным проводом.)

1. Соберите схему с последовательным подключением в соответствии с рисунком 3.7a.
2. Подключитесь к порту вывода источника напряжения с постоянным напряжением 30 В. Замкните переключатель в положение А, чтобы зарядить конденсатор  $C_1$ .
3. Используя известное значение  $C_1$ , рассчитайте исходный заряд на  $C_1$ . Обозначим его  $Q_0$ . (Не забудьте, что  $Q = CV$ .)
4. Переключите переключатель в положение В. Теперь конденсаторы  $C_1$  и  $C_2$  соединены последовательно.
5. С помощью электрометра измерьте падение напряжения на каждом из конденсаторов ( $V_1$  и  $V_2$ ).
6. Используя известные значения емкости, определите величину заряда в каждом из них. ( $Q_1$  и  $Q_2$ ).
7. Вопросы: можно ли найти связь между  $V_1$ ,  $V_2$  и напряжением источника? Как  $Q_1$  и  $Q_2$  связаны с начальным зарядом на  $C_1$ ?

### 3D.2. Параллельное подключение конденсаторов

1. Перед подключением конденсаторов к схеме убедитесь, что они не содержат заряда.
2. Соберите схему с параллельным подключением в соответствии с рисунком 3.7b.
3. На источнике напряжения установите значение постоянного напряжения 30 В. Замкните переключатель, чтобы зарядить конденсаторы.
4. С помощью электрометра измерьте разность потенциалов в каждом из конденсаторов. Как она соотносится с напряжением источника?
5. Пользуясь известным значением емкостей, определите заряд на каждом из конденсаторов. Как связаны между собой эти заряды?

### Анализ

1. Сравните последовательное и параллельное подключение конденсаторов с точки зрения заряда, напряжения и емкости.

## Демонстрация 4. Зарядка и разрядка конденсаторов

<b>Необходимое оборудование:</b>	
Электрометр (ES-9078A)	Клетка Фарадея (ES-9042A)
Усилитель мощности (CI-6552A)	Кабель входного сигнала (лабораторные провода)
Конденсаторы, 200–400 мкФ	Резисторы, (10–90 кОм; 10–1000 Ом)
Компьютер с интерфейсом PASCО	Программное обеспечение DataStudio®

### Введение

Цель данной демонстрации – показать, как меняется напряжение на конденсаторе и резисторе при зарядке и разрядке конденсатора, а также найти емкостную постоянную времени. Если конденсатор подключен к источнику питания постоянного тока, на нем образуется заряд и разность потенциалов растет, пока не сравняется с напряжением источника. Как зарядка, так и разрядка конденсатора характеризуются количественной величиной, называемой постоянной времени, которая является произведением емкости  $C$  на сопротивление  $R$ , то есть рассчитывается по формуле  $\tau = RC$ .

Используйте значения конденсаторов из рекомендованного диапазона, чтобы пренебречь внутренней емкостью электрометра. Можно отрегулировать значение сопротивления для получения удобной постоянной  $RC$ .

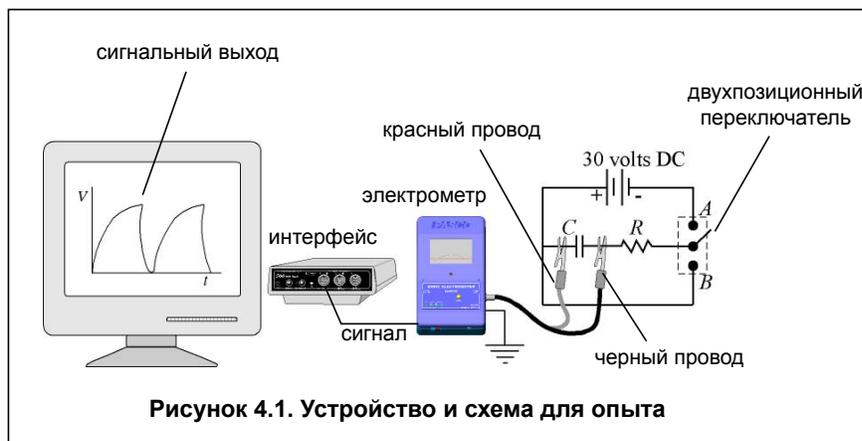
Здесь рассматриваются два варианта одного действия. В первом используется источник питания постоянного напряжения и результаты отражаются на графике зависимости «напряжение-время». Для этого способа следует использовать высокое сопротивление (10–90 кОм). Во втором для заряда и разряда конденсатора используется генератор сигнала квадратной формы. Для этого способа следует использовать более низкое сопротивление (100–1000 Ом).

### Настройка оборудования

Кабель выходного сигнала электрометра позволяет подключить его к интерфейсу PASCО в качестве аналогового датчика.

1. Откройте программу и выберите электрометр в списке датчиков.
2. Соберите схему (см. рис. 4.1), в которой резистор и конденсатор последовательно подключены к источнику напряжения с установленным значением с постоянного напряжения 30 В. Выход электрометра подключается к одному из аналоговых

каналов интерфейса *PASCO*. Установите однополюсный двухпозиционный переключатель.



3. Настройте экран в компьютере для построения графика зависимости «напряжение-время». (Шаги по регулировке показаний электрометра см. выше).
4. При открытом переключателе нажмите кнопку пуска, чтобы начать сбор данных. Переведите переключатель в положение А. Начнется зарядка конденсатора. Наблюдайте за изменением напряжения на экране.
5. Когда заряд на конденсаторе достигнет значения источника (постоянное напряжение 30 В), переведите переключатель в положение В, чтобы начать разряд конденсатора. Наблюдайте за изменением напряжения на экране.
6. Можно попробовать эксперименты с различными значениями R и отметить различия во времени зарядки.

### Анализ

Когда конденсатор заряжается через резистор от источника питания постоянного тока, заряд и напряжение на конденсаторе возрастают со временем. Напряжение  $V$  является функцией от времени и задается по формуле

$$V = V_0 (1 - e^{-t/RC}), \text{ где } V_0 \text{ указывает напряжение заряда.}$$

Спустя период времени  $t = RC$  (одна постоянная времени) напряжение на конденсаторе повысилось до 63 % от максимального значения ( $V = 0,63V_0$  при  $t = RC$ ).

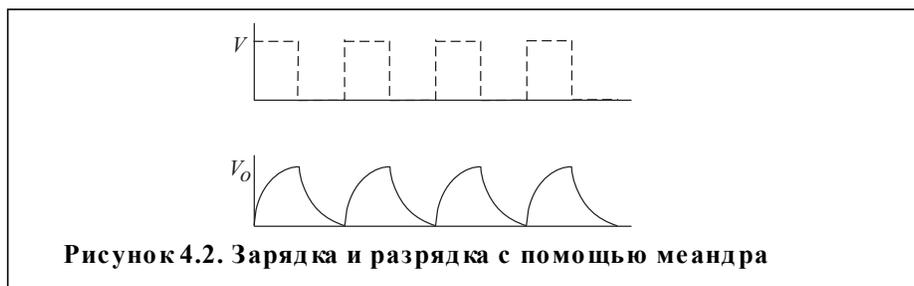
1. Рассчитайте 63 % от напряжения источника. Найдите на графике точку, в которой напряжение достигло этого значения. Сколько времени потребовалось для достижения 63 % от напряжения источника? Это время равно  $RC$ .
2. Сравните измеренную постоянную времени на графике с рассчитанной по известным значениям  $C$  и  $R$ . Теперь, когда полностью заряженный конденсатор разряжается через резистор, напряжение (и заряд) на конденсаторе снижается

со временем в соответствии с уравнением  $V = V_0 e^{-t/RC}$ . Спустя время  $t = RC$  (одна постоянная времени) напряжение на конденсаторе снижается до 37% от максимального значения.

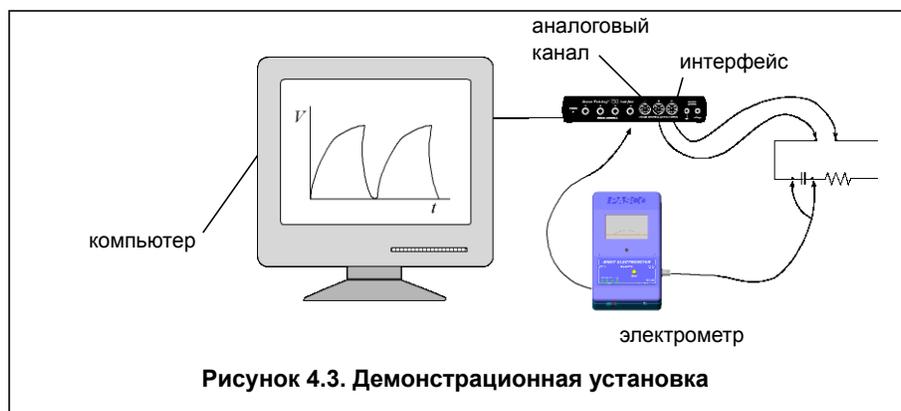
- Определите, чему равно 37 % от общего напряжения и найдите точку, в которой на графике разряда было достигнуто это значение. Сколько времени с момента начала разрядки потребовалось до достижения этого значения? (Воспользуйтесь интеллектуальным указателем мыши)!
- Сравните измеренную константу  $RC$  с известным значением.

#### Процедура 4В. Зарядка и разрядка конденсаторов с помощью генератора сигналов

Если на конденсатор в  $RC$ -схеме подается импульс в форме меандра с положительным напряжением, конденсатор периодически заряжается и разряжается (см. рис. 4.2). Период полного заряда и разряда равняется периоду меандра.



*Примечание. В представленной здесь процедуре заданы значения  $R$ ,  $C$  и частоты сигнала, которые хорошо сочетаются друг с другом. Если вы решите использовать другое значение  $R$  или  $C$ , потребуется скорректировать частоту волны. Обратите внимание, что напряжение должно оставаться постоянным в течение достаточно длительного времени для полной зарядки конденсатора перед обнулением напряжения и началом разрядки конденсатора. Достаточно точно оценить время, требуемое для полной зарядки конденсатора, можно по формуле  $t = RC[\ln V_0 - \ln 0.01]$ , где  $V_0$  указывает напряжение источника. Следует выбрать такой сигнал, чтобы период волны по меньшей мере в два раза превышал время зарядки.*



### Демонстрационная установка

1. Соберите схему, показанную на рисунке 4.3, где резистор и конденсатор последовательно подключены к выходу генератора сигналов интерфейса *PASCO 750*. Используйте конденсатор с емкостью 200  $\mu\text{F}$  и резистор с сопротивлением 1000 Ом. Электронный вольтметр считывает напряжение на конденсаторе и подсоединен к одному из аналоговых каналов интерфейса *PASCO*.
2. В программном обеспечении SPARKvue/Capstone создайте график зависимости напряжения от времени по показаниям электронного вольтметра.
3. Настройте генератор сигналов таким образом, чтобы он формировал положительный прямоугольный сигнал амплитудой не более 4 вольт и частотой 0,45 Гц. Включите для генератора сигналов параметр AUTO (АВТО). В результате сигнал будет включаться и выключаться по нажатию кнопок «Start» (Пуск) или «Stop» (Останов) для сбора данных.
4. Запустите запись данных. Наблюдайте за изменением напряжения на конденсаторе на экране. По завершении нескольких циклов зарядки-разрядки остановите сбор данных.
5. Для выполнения анализа достаточно одного полного цикла. Увеличьте масштаб до полного цикла зарядки-разрядки.

### Анализ

Анализ выполняется аналогично анализу в процедуре А.

### Дополнительные возможности

1. Проверьте, что происходит с напряжением на резисторе при зарядке и разрядке конденсатора.

## Приложение А. Информация об авторских правах и гарантии

### Уведомление о защите авторских прав

Все содержимое документа 012-07227G *Набор оборудования «Электростатика»* компании PASCО scientific защищено авторскими правами. Вместе с тем, некоммерческим образовательным учреждениям предоставляется разрешение на воспроизведение любой его части данного документа при условии, что копии будут использоваться исключительно в лабораториях и учебных классах этих организаций и не будут распространяться на коммерческой основе. Воспроизведение на других условиях без письменного согласия компании PASCО scientific запрещено.

### Ограниченная гарантия

PASCО scientific гарантирует отсутствие дефектов материалов и производственных дефектов в течение одного года с даты отправки продукта потребителю. PASCО заменит или отремонтирует (по своему усмотрению) любую часть продукта, которая признана имеющей дефект материала или производственный дефект. Гарантия не охватывает случаи повреждения продукта в результате неправильного или неосторожного использования. Причину неисправности продукта (в результате производственного дефекта или неправильного использования клиентом) определяет исключительно PASCО scientific. Возврат оборудования для выполнения гарантийного ремонта является обязанностью клиента. Оборудование необходимо должным образом упаковать, чтобы избежать его повреждения, и отправить почтой или транспортной компанией с предварительной оплатой. (Повреждения, вызванные ненадлежащей упаковкой оборудования для отправки возврата, не будут покрываться гарантией). Стоимость транспортировки при возврате оборудования после ремонта оплачивает PASCО scientific.

### Сведения об авторах

Автор: Сесилия Эрнандес (Cecilia Hernandez)

## Приложение В. Техническая поддержка

Для получения поддержки при работе с оборудованием из набора «Электростатика» или другими продуктами PASCО обращайтесь в PASCО по следующим каналам:

Адрес: PASCО scientific

10101 Foothills Blvd.

Roseville, CA 95747-7100, США

Тел.: (916) 786-3800

Факс: (916) 786-3292

Веб-сайт: [www.pasco.com](http://www.pasco.com)

Адрес электронной почты: [techsupp@pasco.com](mailto:techsupp@pasco.com)

### Инструкции по утилизации по окончании срока службы продукта

Данное электронное устройство подлежит утилизации и вторичной переработке в соответствии с правилами, которые зависят от конкретной страны и региона. Ответственность за утилизацию электронного оборудования в соответствии с местными экологическими законами и нормами, гарантирующими защиту здоровья и окружающей среды, возлагается на конечного пользователя. Сведения о пунктах сбора отработанного оборудования для переработки можно получить в местной службе по утилизации и переработке отходов или в месте приобретения продукта.

Символ ЕС WEEE (отходы электрического и электронного оборудования) на продукте или его упаковке (справа) указывает, что этот продукт **не подлежит** утилизации в стандартном контейнере для отходов.

