

## Работа 327.

# Измерение силы взаимодействия между заряженными телами

### Решаемые задачи

- Приобрести навыки работы с источником высокого напряжения;
- Изучить способ измерения силы, возникающей между обкладками заряженного конденсатора;
- Пронаблюдать зависимость величины и направления силы от приложенного напряжения и расстояния между пластинами;
- На основании данных эксперимента рассчитать электрическую постоянную  $\epsilon_0$ .

### Оборудование

Набор для сборки плоского конденсатора .....	1 шт.	51637
Подставка с регулировкой высоты .....	1 шт.	51631
Электронный динамометр .....	1 шт.	524060
Источник высокого напряжения 0 ... 10 кВ .....	1 шт.	52170
Электронный индикатор Mobile-CASSY .....	1 шт.	524009
Высоковольтный кабель .....	1 шт.	501051
Соединительные провода .....	3 шт.	

### Описание эксперимента

Если плоский конденсатор подключить к источнику напряжения  $U$ , то в нем возникнет однородное электрическое поле с напряженностью

$$E = \frac{U}{d}, \quad (1)$$

где  $d$  — расстояние между пластинами (обкладками) конденсатора (рис. 1).

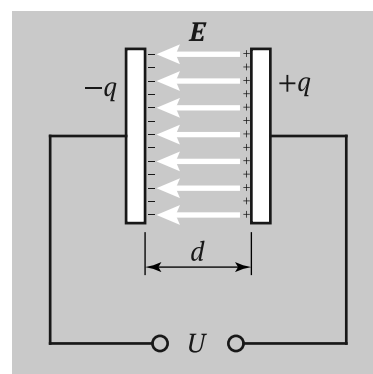


Рис. 1.

Это поле создается зарядами  $q$  и  $-q$ , возникающими на обкладках. Однако, чем больше поле проникает внутрь обкладок, тем больше ослабляется. Непосредственно на поверхности обкладок напряженность поле равна  $E$ , а внутри, как для любого проводника, равна нулю. На заряды, таким образом, действует усредненное (эффективное) электрическое поле, равное  $E/2$ . Пластины конденсатора будут притягивать друг друга с силой

$$F = \frac{1}{2}Eq. \quad (2)$$

Заряд на обкладках конденсатора  $q$  можно найти, зная емкость конденсатора  $C$  и разность потенциалов между обкладками  $U$ :

$$q = CU. \quad (3)$$

Для плоского конденсатора емкость равна

$$C = \varepsilon_0 \frac{S}{d}, \quad (4)$$

где  $d$  — расстояние между обкладками,  $S$  — их площадь,  $\varepsilon_0$  — электрическая постоянная:

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{\mu_0 c^2} = \frac{1}{4\pi \cdot 10^{-7} \times 299792458^2} \approx 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}, \quad (5)$$

где  $\mu_0$  — магнитная постоянная,  $c$  — скорость света в вакууме.

Таким образом, для плоского конденсатора сила, возникающую между обкладками, равна:

$$F = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \frac{S}{d} U \cdot \frac{U}{d} = \frac{\varepsilon_0 S}{2} \left( \frac{U}{d} \right)^2. \quad (6)$$

Значения величин  $F$ ,  $U$ ,  $S$  и  $d$  можно измерить экспериментально. Уравнение (6), следовательно, можно использовать для экспериментального определения значения электрической постоянной.

### Указания по технике безопасности

Источник высокого напряжения 10 кВ полностью удовлетворяет требованиям безопасности для лабораторного оборудования. Тем не менее, при работе с высоким напряжением необходимо соблюдать следующие меры предосторожности:

- Перед подключением и отключением проводников обязательно убедитесь, что источник высокого напряжения выключен.
- Во время эксперимента неизолированные части установки должны располагаться так, чтобы исключить случайное касание высоковольтного кабеля.
- Всегда устанавливайте нулевое значение выходного напряжения перед подключением источника высокого напряжения (поверните ручку против часовой стрелки до упора).

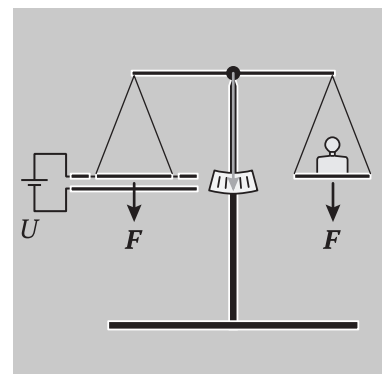
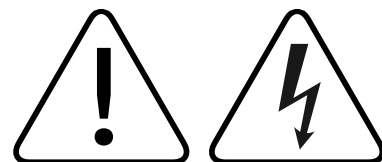
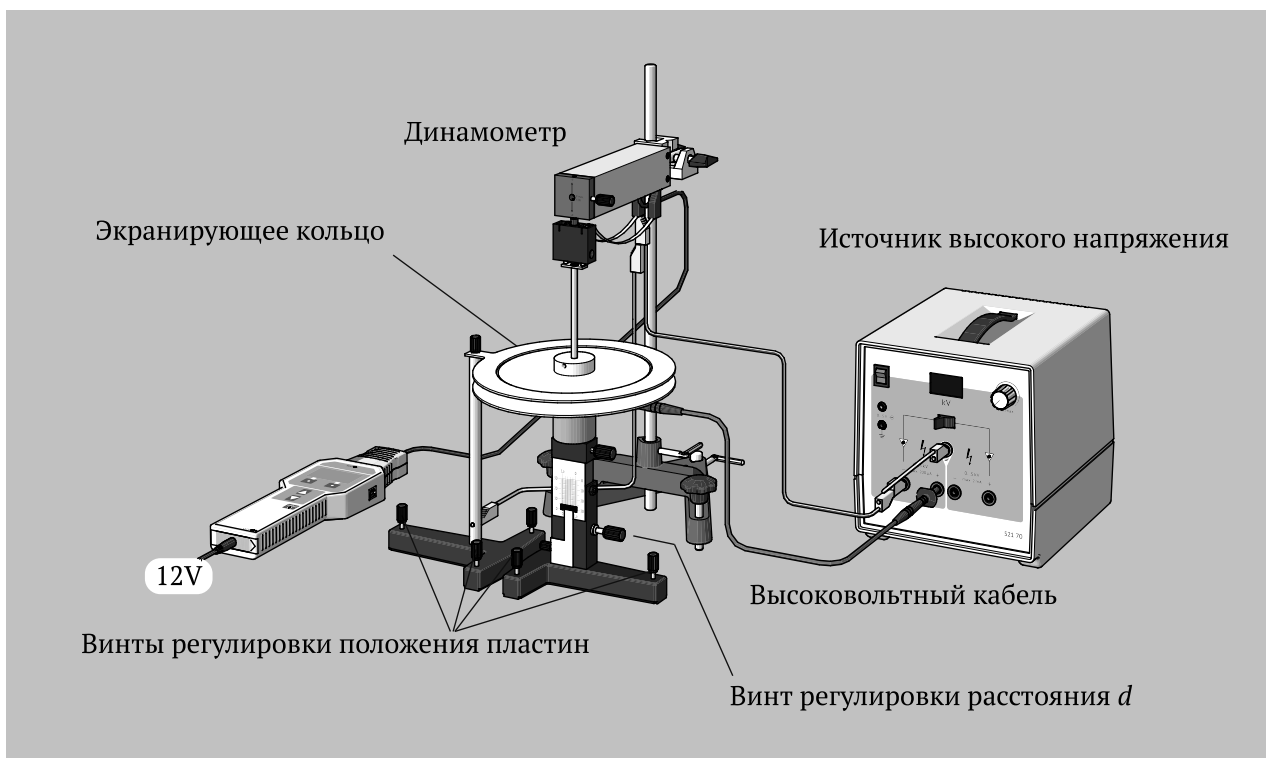


Рис. 2.



- Для предотвращения возникновения высоковольтной дуги необходимо располагать кабели высокого напряжения как можно дальше от других проводов и проводящих объектов, а также свети время включения высоковольтного источника к минимуму.
- Перед любым действием, связанным с изменениями в экспериментальной установке (изменение расстояния между пластинами, перемещение и пересоединение проводов) *выключайте источник тока, предварительно повернув ручку регулировки против часовой стрелки до упора.*



**Рис. 3.** Экспериментальная установка для изучения силы взаимодействия заряженных тел.

### Подготовка эксперимента

Экспериментальная установка приведена на рис. 3. Плоский конденсатор состоит из нижней пластины, закрепленной через при помощи подставки из диэлектрика на штативе, верхней пластины и экранирующего кольца, тоже закрепленного на другом штативе. Нижняя пластина подключается к источнику тока при помощи высоковольтного кабеля. К электронному динамометру прикреплена верхняя пластина конденсатора. Расстояние между пластинами можно изменять с помощью винта, контролируя перемещение с помощью отсчетного устройства на штативе.

Порядок сборки экспериментальной установки:

- Закрепить экранирующее кольцо на штативе;

- Закрепить нижнюю пластину конденсатора на подвижном штативе;
- Прикрепить верхнюю пластину конденсатора к динамометру;
- Соединить на передней панели гнездо заземления и гнездо «—» при помощи короткого проводника.
- С помощью имеющихся проводников подключить экранирующее кольцо к верхней пластине и верхнюю пластину к выходу «—» источника тока;
- Подключить кабель электронного динамометра к входному разъему мобильного измерителя CASSY;
- Перемещая подвижный штатив по плоскости стола и регулируя его высоту регулировочными винтами, добиться параллельного расположения пластин. *Получение хороших результатов требует тщательной настройки взаимного расположения пластин.*

*Внимание:* пластины не должны касаться друг друга! Минимальное расстояние между пластинами 8 мм.

Поскольку значения силы Ампера, достигаемой в этой работе очень малы (единицы миллиньютонов) измерения подвержены влиянию различных помех, поэтому необходимо избегать вибрации и колебаний температуры а также проводить все измерения не менее 3 раз с последующим усреднением результатов.

## Порядок выполнения работы

### Изучение зависимости величины силы взаимодействия от приложенного напряжения

- Установить с помощью винта вертикального перемещения подвижного штатива расстояние между пластинами 20 мм.
- Убедиться, что ручка регулировки напряжения источника находится в крайнем левом положении.
- Включить источник тока.
- Включить мобильный измеритель CASSY.
- Провести зануление показаний электронного динамометра. Для этого с помощью кнопок  и  в меню «Properties» выбрать пункт «Compensate offset» и обнулить показания с помощью правой кнопки .
- Увеличивая напряжение по 0,5 кВ в диапазоне от 0 до 0,5 кВ измерить зависимость силы взаимодействия  $F$  от напряжения  $U$ . Для каждого значения  $U$  измерять силу взаимодействия пластин не менее пяти раз. Результаты измерений занести в таблицу.
- После окончания измерений, ручку регулировки напряжения установить в крайнее левое положение и выключить источник тока.

### Изучение зависимости величины силы взаимодействия от расстояния между пластинами

- Установить с помощью винта вертикального перемещения подвижного штатива расстояние между пластинами 20 мм.
- Убедиться, что ручка регулировки напряжения источника находится в крайнем левом положении.
- Включить мобильный измеритель CASSY.
- Провести зануление показаний электронного динамометра. Для этого с помощью кнопок  $\Delta$  и  $\square$  в меню «Properties» выбрать пункт «Compensate offset» и обнулить показания с помощью правой кнопки  $\square$ .
- Включить источник тока, установить на нем напряжение 5 кВ.
- Измерить силу взаимодействия пластин для  $U = 5 \text{ кВ}$ ,  $d = 20 \text{ мм}$ . Измерения проводить не менее пяти раз. Результаты измерений занести в таблицу.
- Установить ручку регулировки напряжения в крайнее левое положение и выключить источник тока
- С помощью регулировочного винта приподнять нижнюю пластину, так чтобы расстояние между пластинами стало равным 16 мм.
- Включить источник тока, установить на нем напряжение 4 кВ.
- Измерить силу взаимодействия пластин для  $U = 4 \text{ кВ}$ ,  $d = 16 \text{ мм}$ . Измерения проводить не менее пяти раз. Результаты измерений занести в таблицу.
- Установить ручку регулировки напряжения в крайнее левое положение и выключить источник тока.
- Повторить измерения для  $U = 3 \text{ кВ}$ ,  $d = 12 \text{ мм}$  и  $U = 2 \text{ кВ}$ ,  $d = 8 \text{ мм}$ .
- После окончания измерений, ручку регулировки напряжения установить в крайнее левое положение и выключить источник тока.

### Обработка результатов

#### Изучение зависимости величины силы взаимодействия от приложенного напряжения

Постройте график зависимости силы  $F$  от квадрата напряжения  $U^2$ . Полученную зависимость аппроксимировать прямой линией и определить тангенс угла наклона прямой. Используя выражение (6) найдите из наклона графика значение электрической постоянной  $\epsilon_0$ .

**Изучение зависимости величины силы взаимодействия от расстояния между пластинами**

Построить график  $F$  от  $U^2/r^2$ . Полученную зависимость аппроксимировать прямой линией и определить тангенс угла наклона прямой. Используя выражение (6) найдите значение электрической постоянной  $\epsilon_0$ .