

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ

Факультет физики

## Лабораторная работа

«Генератор Ван де Граафа»

Работу выполнил студент 2 курса  
Захаров Сергей Дмитриевич



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

Москва  
2019

# Содержание

1. Цель работы	2
2. Описание метода выполнения работы	2
2.1. Определение напряжения пробоя воздуха . . . . .	2
2.2. Определение напряжение генератора Ван де Граафа . . . . .	3
3. Выполнение работы	3
4. Анализ результатов	4
Список литературы	5

# 1. Цель работы

Перед началом работы были поставлены следующие цели:

- 1) Определить напряженность пробоя воздуха.
- 2) Определить напряжение генератора Ван де Граафа, чтобы в дальнейшем получить напряженность пробоя воздуха альтернативным способом.

## 2. Описание метода выполнения работы

### 2.1. Определение напряжения пробоя воздуха

Сперва определимся с формулой, с помощью которой мы будем это напряжение определять. Для этого обратимся к [2], откуда получим формулу:

$$\varphi(x) = \frac{q}{|x - (r_l + d + r_b)|} - \frac{r_l}{r_l + d + r_b} \cdot \frac{q}{\left|x - \frac{r_l^2}{r_l + d + r_b}\right|} \quad (1)$$

Здесь  $r_l$  — радиус меньшей сферы,  $r_b$  — радиус большей сферы,  $d$  — расстояние между ними.

Чтобы получить разность потенциалов, зафиксируем точки, между которыми разность нужна. При этом, согласно устройству генератора, потенциал второй сферы равен нулю (она заземлена). В таком случае искомая разность потенциалов записывается в виде:

$$\Delta\varphi = \frac{q}{r_b} - \frac{r_l q}{|2r_l d + r_l r_b + r_b d + d^2|} \quad (2)$$

Теперь учтем, что заряд может быть выражен как  $q = IT$ , где  $I$  — ток генератора,  $T$  — период искрового разряда и получим из (2) финальную формулу:

$$\Delta\varphi = \frac{IT}{r_b} - \frac{r_l IT}{|2r_l d + r_l r_b + r_b d + d^2|} \quad (3)$$

Здесь  $I$  — ток генератора,  $T$  — период искрового разряда,  $r_b$  — радиус большой сферы,  $r_l$  — радиус маленькой сферы,  $d$  — расстояние между сферами.

Измерить радиусы сфер и расстояние между сферами не представляет большого труда.

Измерение тока было решено провести косвенно, замерив напряжение на известном сопротивлении. В таком случае ток можно выразить через сопротивление по закону Ома:

$$I = \frac{U}{R} \quad (4)$$

Здесь  $U$  — напряжение на сопротивлении,  $R$  — его величина.

Таким образом формула (3) преобразуется в вид:

$$\Delta\varphi = \frac{UT}{Rr_b} - \frac{r_l UT}{R \cdot |2r_l d + r_l r_b + r_b d + d^2|} \quad (5)$$

Чтобы определить период искрового разряда, к генератору был поднесен щуп осциллографа, который улавливал наводки. Период этих наводок совпадал с периодом искрового разряда.

## 2.2. Определение напряжение генератора Ван де Граафа

Для того, чтобы измерить напряжение генератора, можно воспользоваться следующим приближением: пренебрежем различиями сфер в размерах. В таком случае наш генератор фактически является шаровым разрядником. Для такого объекта существует таблица, связывающая диаметр шаров и расстояние между ними с напряжением пробоя воздуха между шарами, которое в то же время равняется и напряжению шара [1].

Согласно ГОСТу, чтобы получить действительное напряжение пробоя, необходимо данные из таблицы, приведенной в нем, умножить на коэффициент, равный относительной влажности воздуха  $\rho$  (при условии, что она лежит в промежутке  $\rho \in [0.95; 1.05]$ ), которая в свою очередь рассчитывается следующим образом:

$$\rho = 0.386 \cdot \frac{P}{273^\circ\text{C} + t} \quad (6)$$

Здесь  $P$  — атмосферное давление (в миллиметрах ртутного столба),  $t$  — температура окружающей среды.

## 3. Выполнение работы

Сперва были замерены следующие величины, необходимые в работе:

Сопротивление $R_1$ , ГОм	Сопротивление $R_2$ , кОм	$r_l$ , см	$r_b$ , см
$3.3 \pm 0.165$	$110 \pm 1$	$5.5 \pm 0.05$	$11.28 \pm 0.1$

Затем было получено, что зависимость напряжения на резисторе  $R_2$  от напряжения на источнике в целом является линейной начиная с напряжения 3 В на последнем. Это отчетливо видно на рисунке (1). По этой причине, зная напряжение на источнике, представляется возможным определить напряжение на резисторе  $R_2$  следующим образом:

$$U_{R_2} = U \cdot 0.116 - 0.246 \text{ В} \quad (7)$$

Напряжение источника  $U$  подставляется в вольтах.

После этого были проведены измерения зависимости периода разряда от расстояния между шарами при двух напряжениях на источнике: 8 В и 11 В. Результаты измерений представлены на рисунке 2. В целом видно, что их можно аппроксимировать линейной функцией.

После того, как мы получили периоды, мы, наконец, можем рассчитать разность потенциалов между сферами по формуле (5), а с ней и напряженность в предположении, что поле между сферами однородное, а значит  $E = \Delta\varphi/d$ . Полученные данные отображены на рисунке 3.

Проведя усреднение по всем имеющимся данным, получаем, что напряженность пробоя воздуха приблизительно равна  $E_{br} = 16.6 \pm 0.3 \text{ кВ/см}$ .

Теперь перейдем ко второму пункту задания. Воспользовавшись формулой (6) при условии, что температура в помещении была около  $27^\circ\text{C}$ , а атмосферное давление 746 мм. рт. ст., получаем, что коэффициент перевода оказывается равен  $\rho = 0.86$ . На основании данных из таблицы в [1] получаем, что напряженность пробоя должна быть около 24 кВ/см.

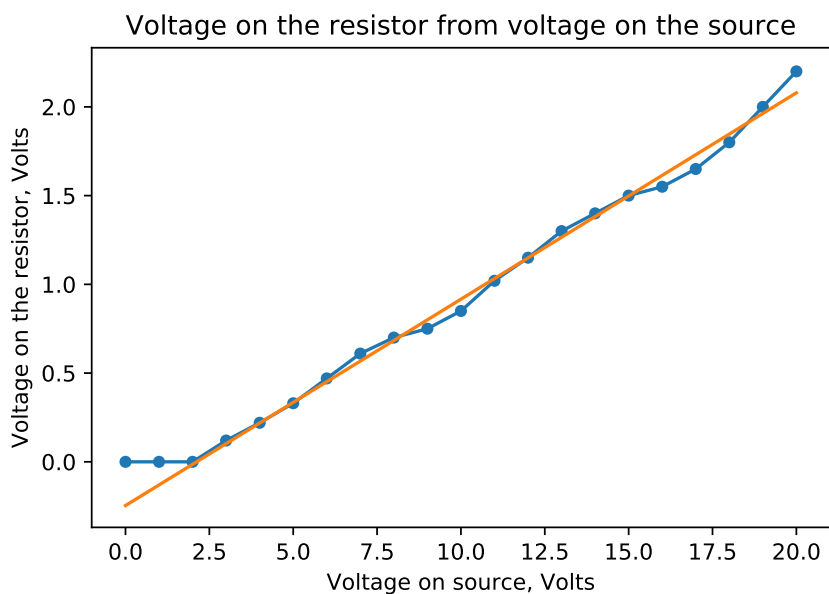
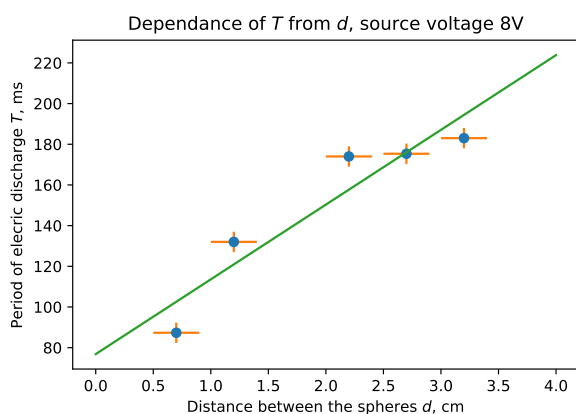
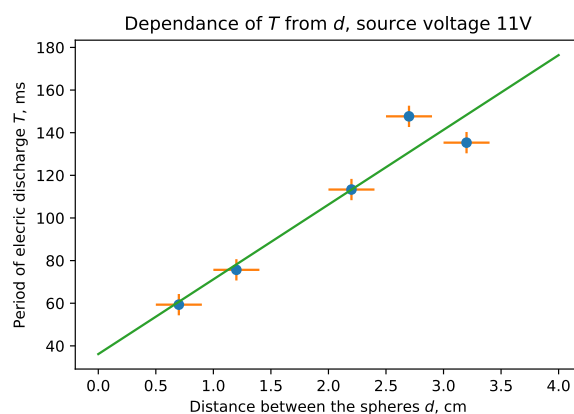


Рис. 1. Зависимость напряжения на резисторе 110 кОм от напряжения на источнике



(a)



(b)

Рис. 2. Зависимость периода разряда от расстояния между сферами при напряжении на источнике 8 В (a) и 11 В (b)

## 4. Анализ результатов

Как видно, полученное значение напряженности отличается от того, которое должно быть в реальности. Это можно объяснить следующими факторами, которые не были учтены в ходе выполнения работы:

- 1) При возникновении разряда сферы начинали колебаться, что фактически вносило дополнительные поправки в измерение расстояния между сферами
- 2) Провода в работе были далеко не высоковольтными, что означает, что потенциально могли возникать неучтенные утечки.
- 3) При выполнении работы возникали постоянные паразитные наводки, связанные с работой нескольких генераторов одновременно.

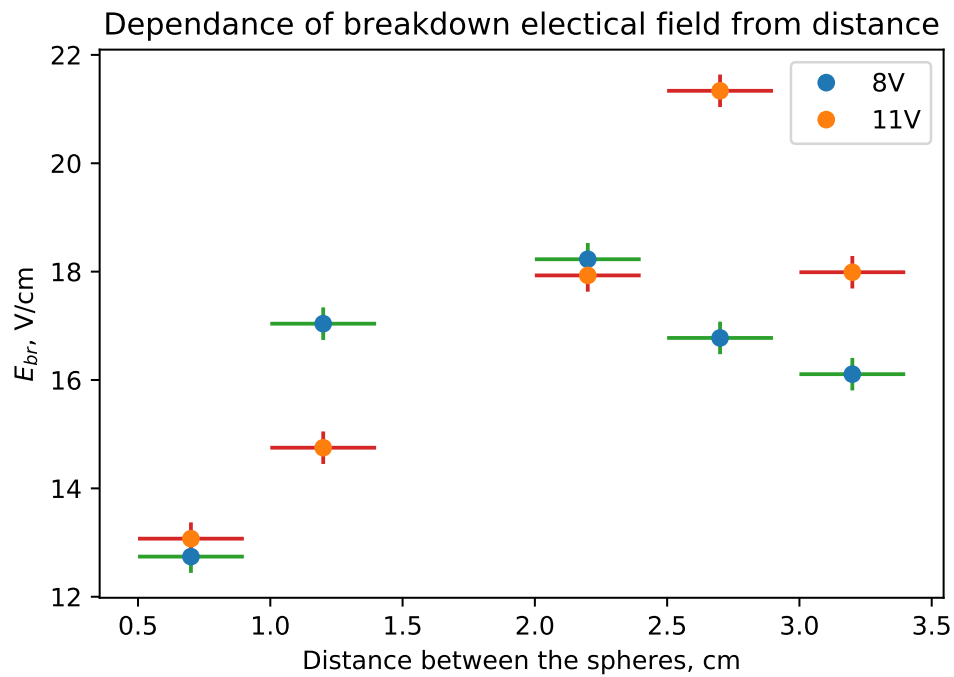


Рис. 3. Зависимость напряженности пробоя воздуха от расстояния между сферами при напряжении 8 В и 11 В

## Список литературы

- [1] ГОСТ 17512-82 (СТ СЭВ 2732-80). Электрооборудование и электроустановки на напряжение 3 кВ и выше. Методы измерения при испытаниях высоким напряжением. – 1982
- [2] Jackson J. D. Classical Electrodynamics. New York: John Wiley and Sons, 1965. 702 p.