

# МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

КАФЕДРА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ

ВОПРОС ПО ВЫБОРУ

---

## Измерение удельного сопротивления воздуха

---

*Автор:*  
Ушаков Роман  
513 группа



16 января 2017 г.

## Цель работы

Измерение удельного сопротивления воздуха.

## Необходимое оборудование

Линейка, карандаш, нить, два шарика для настольного тенниса, секундомер, любой резиновый или пластиковый предмет, который удобно электризовать (в данной работе выбран воздушный шарик «ФАКИ»).

## Теоретический материал

Заряд уединенного заряженного шарика, подвешенного на тонкой нити в воздухе, с течением времени уменьшается. Это связано с конечной величиной удельного сопротивления воздуха  $\rho$ . Запишем закон Ома в дифференциальной форме:

$$\vec{j} = \lambda \vec{E} \quad (1)$$

Учитывая соотношение  $\lambda = \frac{1}{\rho}$ , получим в итоге:

$$\vec{j} = \frac{1}{\rho} \vec{E} \quad (2)$$

Теперь найдём величину всего тока  $I$ . Он равен:

$$I = \oiint_S j dS = \frac{1}{\rho} \oiint_S E dS = \frac{4\pi q}{\rho} \quad (3)$$

В последнем равенстве применена теорема Гаусса :  $\oiint_S E dS = 4\pi q$ . Учитывая, что  $I = -\frac{dq}{dt}$ , получаем дифференциальное уравнение:

$$\frac{dq}{dt} = -\frac{q}{\rho\epsilon_0} \quad (4)$$

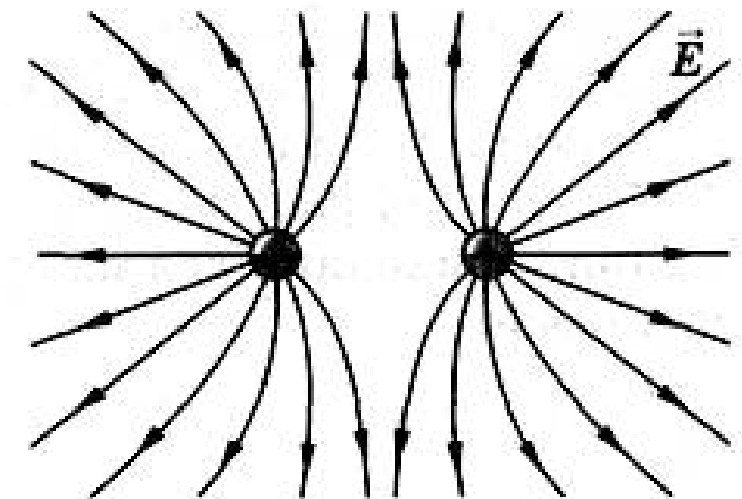
Уравнение записано в СИ. Решением этого дифференциального уравнения является функция  $q(t) = q_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$ , где  $q_0$  — начальный заряд шарика,  $\tau = \epsilon_0 \rho$  — время, за которое заряд мячика уменьшается в  $e$  раз.

$$\frac{dq}{dt} = -\frac{q}{\rho\epsilon_0} \quad (5)$$

Тогда  $\rho$  выражается:

$$\rho = \frac{T_{1/2}}{\epsilon_0 \cdot \ln 2} \quad (6)$$

Заметим, что закон Кулона взаимодействия двух точечных зарядов неприменим в данных условиях из-за перераспределения индуцированных на шариках зарядов.



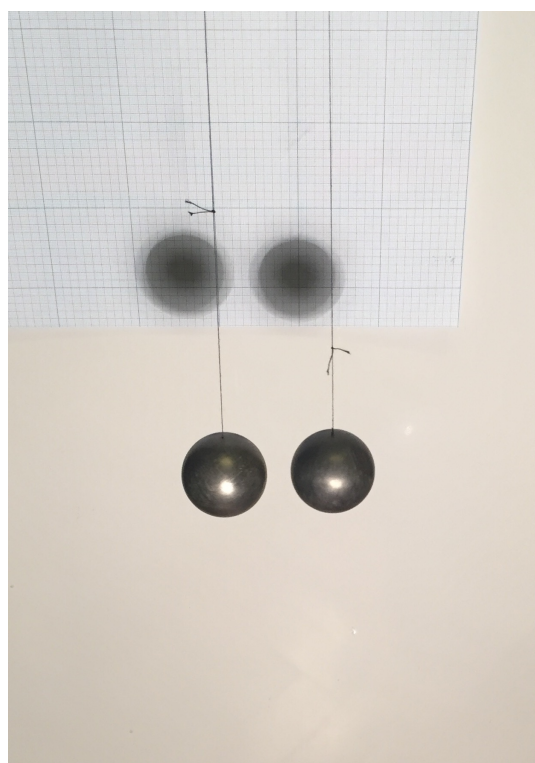
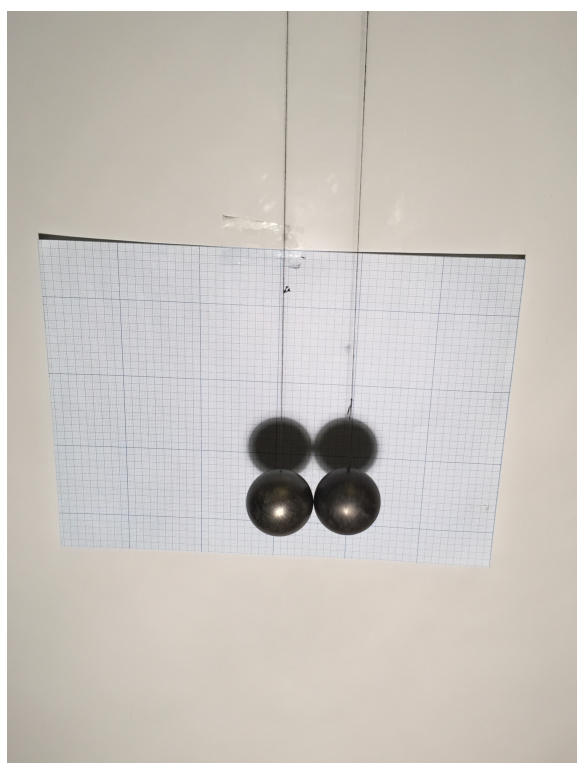
## Экспериментальная установка

Параметры установки:

$$L = 140 \text{ см}$$

$$d_0 = 40 \text{ мм}$$

(7)



## Ход работы



Закрасим теннисные шарики карандашом, затем подвесим их так, чтобы расстояние между нитями равнялось диаметру шарика  $d_0 = 2R = 40$  мм. Длина нитей  $L = 140$  см. Незаряженные шарики при этом слегка соприкасаются. С помощью линейки будем измерять расстояние между шариками.

## Калибровка установки

Заряжаем теннисные мячики с помощью воздушного шарика «ФАКИ». Измеряем расстояние между нитями на высоте 10 см от шариков. Полученное расстояние около  $d_1 = 70$  мм. Затем разряжаем один из шариков, касаясь его рукой. После соприкосновения между собой шарики снова расходятся, но на этот раз на расстояние около  $d_2 = 40$  мм. Заряды шариков при этом уменьшаются вдвое. Калибровка проведена.

Вновь заряжаем шарики так, что расстояние между нитями, отсчитанное по линейке, было  $d_1 = 75$  мм. С помощью секундомера измеряем время  $T_{\frac{1}{2}}$ , за которое расстояние между нитями уменьшается до  $d_2 = 45$  мм. Это время соответствует уменьшению заряда вдвое.

## Измерения

I серия опытов:  $d_1 = 73$  мм,  $d_0 = 41$  мм

| номер опыта                           | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   |
|---------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $T_{\frac{1}{2}}$ , с                 | 468 | 471 | 474 | 490 | 463 | 453 | 448 | 501 | 451 |
| $\rho$ , Ом $\cdot$ м $\cdot 10^{13}$ | 7.6 | 7.6 | 7.7 | 8.0 | 7.5 | 7.4 | 7.3 | 8.2 | 7.4 |

II серия опытов:  $d_1 = 78$  мм,  $d_0 = 43$  мм

|  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| номер опыта                                      | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   |
| $T_{\frac{1}{2}}, \text{ с}$                     | 498 | 546 | 489 | 462 | 473 | 476 | 489 | 457 | 486 |
| $\rho, \text{ Ом} \cdot \text{ м} \cdot 10^{13}$ | 8.1 | 8.9 | 8.0 | 7.5 | 7.7 | 7.8 | 8.0 | 7.5 | 8.0 |

III серия опытов:  $d_1 = 76 \text{ мм}$ ,  $d_0 = 42 \text{ мм}$

|  |     |     |     |     |     |     |     |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| номер опыта                                      | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   |
| $T_{\frac{1}{2}}, \text{ с}$                     | 475 | 467 | 474 | 497 | 435 | 449 | 478 |
| $\rho, \text{ Ом} \cdot \text{ м} \cdot 10^{13}$ | 7.8 | 7.6 | 7.7 | 8.1 | 7.0 | 7.3 | 7.8 |

Полученные в результате опыта значения:

$$\rho = 7.7 \cdot 10^{13} \text{ Ом} \cdot \text{ м}, \sigma_{T_{1/2}} = 23 \text{ с}, \sigma_{\rho} = 0.4 \cdot 10^{13} \text{ Ом} \cdot \text{ м} \rightarrow \rho = (7.7 \pm 0.4) \cdot 10^{13} \text{ Ом} \cdot \text{ м}$$

Реальное значение удельного сопротивления воздуха зависит от температуры и влажности и колеблется в диапазонах  $\rho = 10^{13} - 10^{15} \text{ Ом} \cdot \text{ м}$ .

## Вывод

В данной работе был продемонстрирован способ измерения удельного сопротивления воздуха. Однако данный способ применим не только к воздуху, но и к любым средам, в которых выполняется закон Ома. Важно заметить, что в построении теории мы не использовали закон Кулона, так как заряженные шарики нельзя считать точечными зарядами: поверхностные заряды перераспределяются и имеют сложную конфигурацию.

## Источники

- [1] *Общий курс физики. Электричество. Д. В. Сивухин*
- [2] *International Physics Olympiad 2015*