

---

Группа **Р3115** Работа выполнена 12.06.2021  
Студент **Девяткин Арсений** Отчет сдан \_\_\_\_\_  
Преподаватель **Боярский К.К.** Отчет принят \_\_\_\_\_

## Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе № 3.12

**«Опыт Милликина»**

---

---

## **Цель работы**

1. Исследование движения заряженных капель в электрическом и гравитационном полях.
2. Определение величины элементарного заряда.

## **Задачи, решаемые при выполнении работы**

1. Измерение скоростей движения капель масла при различных напряжениях и направлениях электрического поля.
2. Определение радиуса и заряда капель.

## **Объект исследования**

Капли масла.

## **Метод экспериментального исследования**

Имеется микроскоп, распылитель масла и воздушный конденсатор. В пространство между горизонтально расположенными пластинами воздушного конденсатора впрыскивают из пульверизатора капли масла. При впрыскивании за счет трения о воздух на каплях возникает электрический заряд. Через микроскоп наблюдается поведение (передвижения) капель в конденсаторе, замеряется время и записывается в таблицу. Используя результаты вычислений, вычисляем скорость движения капель, радиус и величину заряда у каждой капли, затем строим график, наглядно демонстрирующий значения радиусов и зарядов капель в виде набора точек. На основании графика, оценим величину элементарно заряда для каждой строки таблицы  $e_i = \frac{q_i}{n}$ . Далее найдём среднее значение оценки элементарного заряда и его среднеквадратичное отклонение.

## **Исходные данные:**

1. Ускорение свободного падения  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$
2. Плотность масла  $\rho_o = 875,3 \text{ кг/м}^3$
3. Плотность воздуха  $\rho = 1,29 \text{ кг/м}^3$
4. Вязкость воздуха  $\eta = 1,81 \cdot 10^{-5} \text{ Н} \cdot \text{с/м}^2$

5. Расстояние между обкладками конденсатора  $d = 6$  мм

6. Расстояние между крайними рисками  $\Delta y = 1,066 \cdot 10^{-3}$  м

### Рабочие формулы:

1)  $C_r = \frac{3}{2} \sqrt{\frac{\eta}{(\rho_0 - \rho)g}}$  — константа, определяемая параметрами экспериментальной установки, где  $\eta$  ( $\eta = 1,81 \cdot 10^{-5}$  Н\*с/м<sup>2</sup>) — вязкость воздуха,  $\rho$  ( $\rho = 1,29$  кг/м<sup>3</sup>),  $\rho_0$  ( $\rho_0 = 875,3$  кг/м<sup>3</sup>) — плотность масла,  $g$  ( $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>) — ускорение свободного падения;

2)  $C_q = \frac{9}{2} \pi d \sqrt{\frac{\eta^3}{(\rho_0 - \rho)g}}$  — константа, определяемая параметрами экспериментальной установки, где  $d$  ( $d = 6$  мм) — расстояние между обкладками конденсатора;

3)  $r = C_r \sqrt{v_1 - v_2}$  — радиус капли(м), где  $v_1$  — скорость(м/с), с которой капля опускается,  $v_2$  — скорость, с которой капля поднимается;

4)  $q = C_q \frac{(v_1 + v_2) \sqrt{v_1 - v_2}}{U}$  — величина заряда(Кл), где  $U$  — напряжение(В);

5)  $\langle e \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N e_i$  — значение оценки элементарного заряда(Кл), где  $N = 23$ ,  $e_i$  — величина элементарного заряда капли;

6)  $\sigma_e = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} * \sum_{i=1}^N (e_i - \langle e \rangle)^2}$  — среднеквадратичное отклонение.

### Измерительные приборы

№ п/п	Наименование	Тип прибора	Используемый диапазон	Погрешность прибора
1	Секундомер	Цифровой	0 – 100 с	0,005 с
2	Измеритель напряжения	Прибор непосредственной оценки	0 – 500(В)	

## Схема установки



РАСПЫЛИТЬ

НАПРЯЖЕНИЕ

ВЫКЛЮЧИТЬ

$U = 349V$

ПОЛЯРНОСТЬ

СЕКУНДОМЕРЫ

Кнопка СТАРТ активирует секундомеры. Они начинают/прекращают отсчет при изменении полярности напряжения. Секундомеры могут быть остановлены вручную при нажатии кнопки СТОП.

СТОП

СБРОС

RESET

$t_1 = 0.00s$   
 $m = 0$

$t_2 = 0.00s$

## Результаты прямых измерений и их обработки

Таблица 1.

№	$U, B$	$t_1, c$	$t_2, c$	$u_1, 10^{-5}$ (м/с)	$u_2, 10^{-5}$ (м/с)	$r, 10^{-7}$ (м)	$q, 10^{-19}$ Кл	$n$	$e, 10^{-19}$ Кл
1	104	13,6	29,43	7,84	3,62	4,48	5,05	3	1,68
2	111	9,73	54,1	10,96	1,97	6,53	7,79	5	1,56
3	124	8,98	24,5	11,87	4,35	5,97	8	5	1,6
4	127	8,63	18,47	12,35	5,77	5,59	8,16	5	1,63
5	132	13,6	17,87	7,84	5,97	2,98	3,19	2	1,6
6	140	19,37	24,07	5,5	4,43	2,25	1,64	1	1,64
7	150	7,82	20,6	13,63	5,17	6,34	8,13	5	1,63
8	155	12,62	13,48	8,45	7,91	1,6	1,73	1	1,73
9	163	7,35	23,48	14,5	4,54	6,88	8,22	5	1,64
10	170	10,34	41,91	10,31	2,54	6,07	4,7	3	1,57
11	178	18,97	52,17	5,62	2,04	4,12	1,82	1	1,82
12	188	6,63	34,77	16,08	3,07	7,86	8,19	5	1,64
13	193	7,44	12,95	14,33	8,23	5,38	6,44	4	1,61
14	209	5,98	9,98	17,83	10,68	5,83	8,13	5	1,63
15	220	8	13,58	13,33	7,85	5,1	5,02	3	1,67
16	229	6,43	10,39	16,58	10,26	5,48	6,57	4	1,64
17	238	7,98	44,18	13,36	2,41	7,21	4,89	3	1,63
18	245	5,63	11,1	18,93	9,6	6,66	7,93	5	1,59
19	258	9,84	36,07	10,83	2,96	6,11	3,34	2	1,67
20	270	9,97	32,11	10,69	3,32	5,91	3,14	2	1,57
21	280	5,93	13,15	17,98	8,11	6,85	6,53	4	1,63
22	284	6,92	80,72	15,4	1,32	8,18	4,93	3	1,64
23	294	8,99	16,23	11,86	6,57	5,01	3,21	2	1,61

### Расчет результатов косвенных измерений, примеры расчетов

Скорости были вычислены по данной формуле:

$$u_i = \frac{S}{t_i}$$

Где  $S = 5,33 \times 10^{-5} \times 20 = 106,6 \times 10^{-5}$ (м)

Пример вычисления первой скорости (1 строка):

$$u_1 = \frac{106,6 \times 10^{-5}}{13,6} = 7,84 \times 10^{-5}(\text{м/с})$$

Вычисление  $C_r$  и  $C_q$ :

$$C_r = \frac{3}{2} \sqrt{\frac{\eta}{(\rho_0 - \rho)g}} = \frac{3}{2} \sqrt{\frac{1,81 \times 10^{-5}}{(875,3 - 1,29) \times 9,81}} = 6,89 \times 10^{-5}(\sqrt{\text{м} \times \text{с}})$$

$$C_q = \frac{9}{2} \pi d \sqrt{\frac{\eta^3}{(\rho_0 - \rho)g}} = \frac{9}{2} \times 3,14 \times 0,006 \sqrt{\frac{(1,81 \times 10^{-5})^3}{(875,3 - 1,29) \times 9,81}}$$

$$= 7,05 \times 10^{-11} (\text{кг} \times \sqrt{\frac{\text{м}}{\text{с}}})$$

$$r = C_r \sqrt{u_1 - u_2}$$

Пример вычисления радиусов:

$$r_1 = C_r \sqrt{u_{11} - u_{12}} = 6,89 \times 10^{-5} \times \sqrt{(7,84 - 3,62) \times 10^{-5}} = 4,48 \times 10^{-7} (\text{м})$$

$$q_i = C_q \frac{(u_{i1} + u_{i2}) \sqrt{u_{i1} - u_{i2}}}{U}$$

Пример вычисления зарядов:

$$q_1 = C_q \frac{(u_{11} + u_{12}) \sqrt{u_{11} - u_{12}}}{U}$$

$$= 7,05 \times 10^{-11} \times \frac{(7,84 + 3,62) \times 10^{-5} \sqrt{(7,84 - 3,62) \times 10^{-5}}}{104}$$

$$= 5,05 \times 10^{-19} (\text{Кл})$$

$$e_i = \frac{q_i}{n}$$

Пример вычисления значения электронного заряда:

$$e_1 = \frac{q_1}{n} = \frac{5,05}{3} = 1,68 (10^{-19} \text{Кл})$$

## Расчет погрешностей

Среднее значение элементарного заряда:

$$\langle e \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N e_i$$

$$\langle e \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N e_i = \frac{1}{23} (1,68 + 1,56 + \dots + 1,61) = 1,64 (10^{-19} \text{Кл})$$

Среднеквадратичное отклонение элементарного заряда:

$$\sigma_e = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N (e_i - \langle e \rangle)^2}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{23 \times 22} ((1,68 - 1,64)^2 + \dots + (1,61 - 1,64)^2)}$$

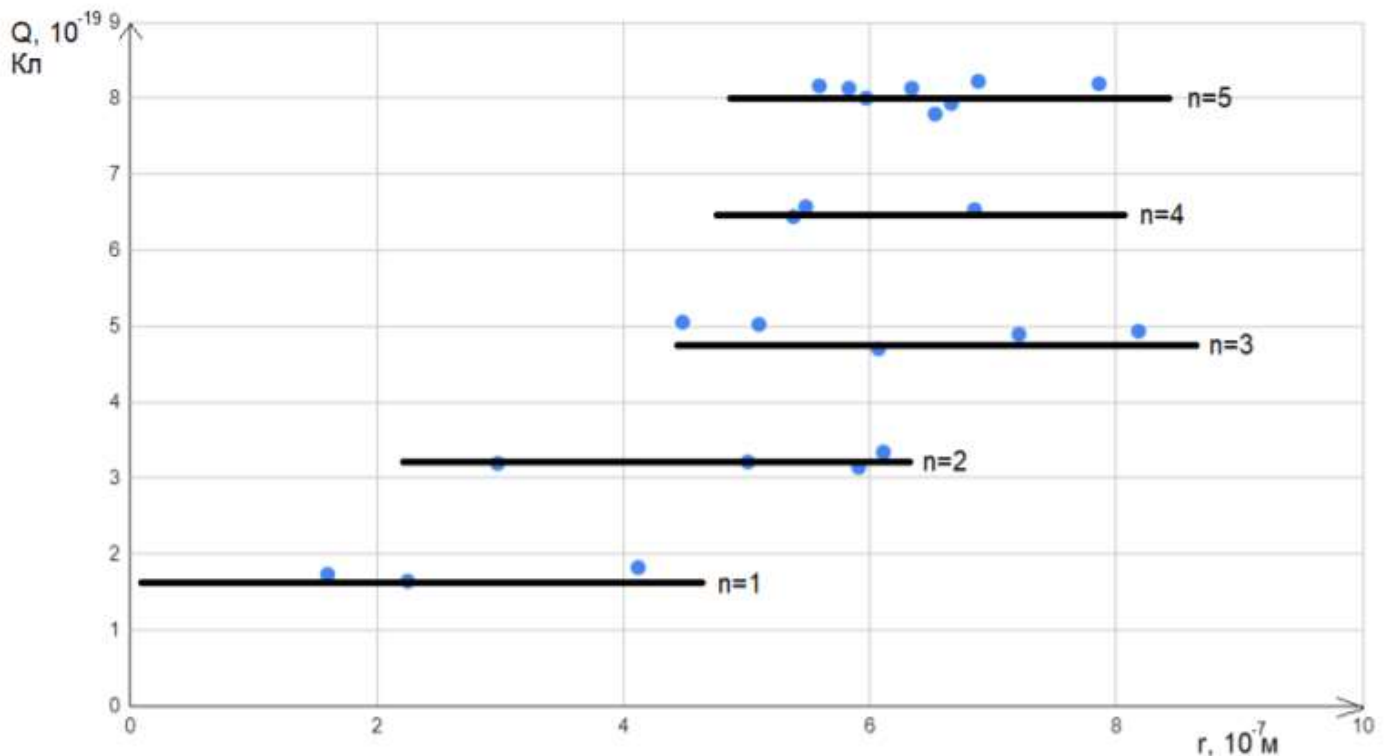
$$= 0,011 (10^{-19} \text{Кл})$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta_e}{e_{\text{табл}}} \times 100\% = \frac{1,64 - 1,602}{1,602} \times 100\% = 2,37\%$$



## Графики

График радиусов и капель



Исходя из данного графика, был получен столбец n (Таблица 1).

### Окончательные результаты

Интервал полученных значений радиусов капель:

$$r \in [1,6; 8,18] \times 10^{-7} (\text{м})$$

Интервал значений зарядов капель:

$$q \in [1,64; 8,22] \times 10^{-19} (\text{Кл})$$

Оценим полученное значение элементарного заряда с табличным значением, найдя относительную погрешность (приведено в пункте погрешности):

$$\varepsilon = 2,37\%$$

Погрешность определенного значения элементарного заряда достаточно мала, следовательно, результат получился достаточно точным.

### Вывод

Оценочное значение элементарного заряда, полученное в ходе выполнения данной работы, превышает табличное значение на 2,37%. Это обусловлено погрешностями при снятии показаний, округлением, а также приблизительный метод вычисления скорости капли (скорость рассчитывалась как средняя на промежутке, в то время как она не была равномерной).