

Многократные прямые измерения.

5. Рабочие формулы и исходные данные.

$$u_1 = \frac{1}{6\pi\eta r} (qE + \frac{4}{3}\pi r^3(\rho_0 - \rho)g)$$

$$u_2 = \frac{1}{6\pi\eta r} (qE + \frac{4}{3}\pi r^3(\rho_0 - \rho)g)$$

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

$$C_r = \frac{3}{2} \sqrt{\frac{\eta}{(\rho_0 - \rho)g}}$$

$$q = C_q \frac{(u_1 + u_2)\sqrt{u_1 - u_2}}{U}$$

$$C_q = \frac{9}{2} \pi d \sqrt{\frac{\eta^3}{(\rho_0 - \rho)g}}$$

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

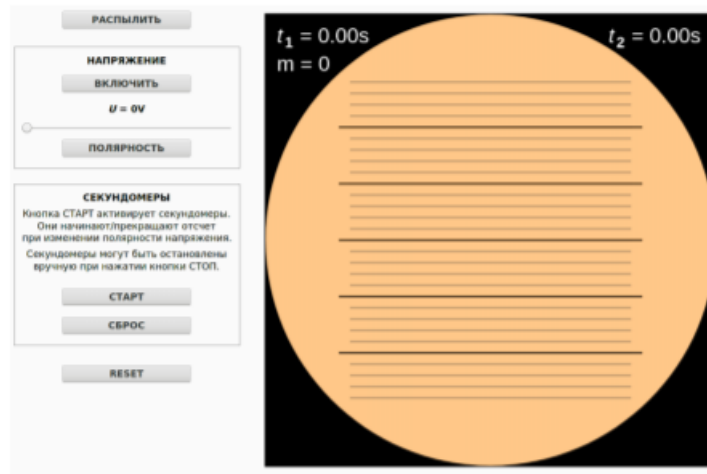
$$u_i = \frac{S}{t_i}$$

6. Измерительные приборы.

№ п/п	Наименование	Тип прибора	Используемый диапазон	Погрешность прибора
1	Линейная шкала	Измерительный	[0; 1,6 × 10 ⁻³](м)	5,33 × 10 ⁻⁵ (м)
2	Секундомер	Цифровой	[0; 100](с)	0,005(с)

7. Схема установки.





8. Результаты прямых измерений и их обработки (таблицы, примеры расчетов)

№	U, B	t_1, c	t_2, c	$v_1, 10^{-5}$ м/с	$v_2, 10^{-5}$ м/с	$r, 10^{-7}$ м	$q, 10^{-19}$ Кл	n	$e, 10^{-19}$ Кл
1	106	13,93	21,02	7,65	5,07	3,5	4,3	2	2,15
2	113	21,17	34,92	5,04	3,05	3,07	2,25	1	1,25
3	120	13,48	21,31	7,91	5,00	3,71	4,09	2	1,01
4	125	11,28	36,45	9,45	2,92	5,57	5,64	3	1,88
5	130	13,86	31,64	7,69	3,37	4,53	3,94	2	1,97
6	139	9,56	15,29	11,15	6,97	4,45	5,94	3	1,01
7	148	7,51	29,64	14,19	3,60	7,09	8,72	5	1,74
8	152	12,86	58,17	8,29	1,83	5,54	3,77	2	1,14
9	160	9,88	38,73	10,79	2,75	6,18	5,35	3	1,78
10	169	7,78	28,39	13,70	3,75	6,87	7,26	4	1,82
11	176	7,56	19,43	14,10	5,49	6,39	7,28	4	1,82
12	184	11,28	38,60	9,45	2,76	5,63	3,83	2	1,92
13	191	10,83	22,87	9,84	4,66	4,96	3,85	2	1,21
14	209	10,53	41,91	10,12	2,54	6	3,72	2	1,86
15	218	15,53	38,13	6,86	2,80	4,39	1,99	1	1,99
16	230	9,41	17,91	11,33	5,95	5,05	3,88	2	1,94
17	239	7,53	18,47	14,16	5,77	6,31	5,38	3	1,79
18	248	14,39	37,48	7,41	2,84	4,65	1,97	1	1,97
19	260	14,14	48,44	7,54	2,20	5,03	1,93	1	1,93
20	276	8,93	55,46	11,94	1,92	6,9	3,54	2	1,77

Примеры расчетов (для многочисленных расчетов показан пример при t_1 и t_2):

$$v_i = \frac{S}{t_i} \text{ (формула для нахождения скорости)}$$

$$\Delta y = 5,33 \cdot 10^{-5} \text{ м (по условию)}$$

$$N = 20$$

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

$$v_1 = \frac{S}{t_1} = \frac{106,6 \cdot 10^{-5}}{13,93} = 7,65 \cdot 10^{-5} \text{ (м/с)}$$

$$C_r = \frac{3}{2} \sqrt{\frac{\eta}{(\rho_0 - \rho)g}} \text{ (формула для нахождения константы } C_r \text{)}$$

$$C_q = \frac{9}{2} \pi d \sqrt{\frac{\eta^3}{(\rho_0 - \rho)g}} \text{ (формула для нахождения константы } C_q \text{)}$$

Вычислим значения, подставив заданные параметры лабораторного стенда:

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 $d = 6 \text{ мм}$

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

$$\begin{aligned} C_q &= \frac{9}{2} \pi d \sqrt{\frac{\eta^3}{(\rho_0 - \rho)g}} = \frac{9}{2} \cdot 3,14 \cdot 0,006 \sqrt{\frac{(1,81 \cdot 10^{-5})^3}{(875,3 - 1,29) \cdot 9,81}} = \\ &= 7,05 \cdot 10^{-11} (\text{кг} \cdot \sqrt{\frac{\text{м}}{\text{с}}}) \end{aligned}$$

$$r = C_r \sqrt{v_1 - v_2} \text{ (формула для нахождения радиуса капли)}$$

Подставляем в формулу значения v_1 и v_2 , также найденную ранее константу C_r :

$$r = 6,89 \cdot 10^{-5} \cdot \sqrt{(7,65 - 5,07) \cdot 10^{-5}} = 3,5 \cdot 10^{-7} (\text{м})$$

$$q = C_q \frac{(v_1 + v_2) \sqrt{v_1 - v_2}}{U} \text{ (формула для нахождения заряда)}$$

Подставляем в формулу значения v_1 , v_2 и U , также найденную ранее константу C_q :

$$q = 7,05 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{(7,65 + 5,07) \cdot 10^{-5} \sqrt{(7,65 - 5,07) \cdot 10^{-5}}}{106} = 4,3 \cdot 10^{-19} (\text{Кл})$$

$$e_i = \frac{q_i}{n} \text{ (формула для нахождения элементарного заряда)}$$

Подставим значения q и n (взятое из п.9):

$$e_1 = \frac{q_1}{n} = \frac{4,3}{2} = 2,15(10^{-19} \text{ Кл})$$

9. График.

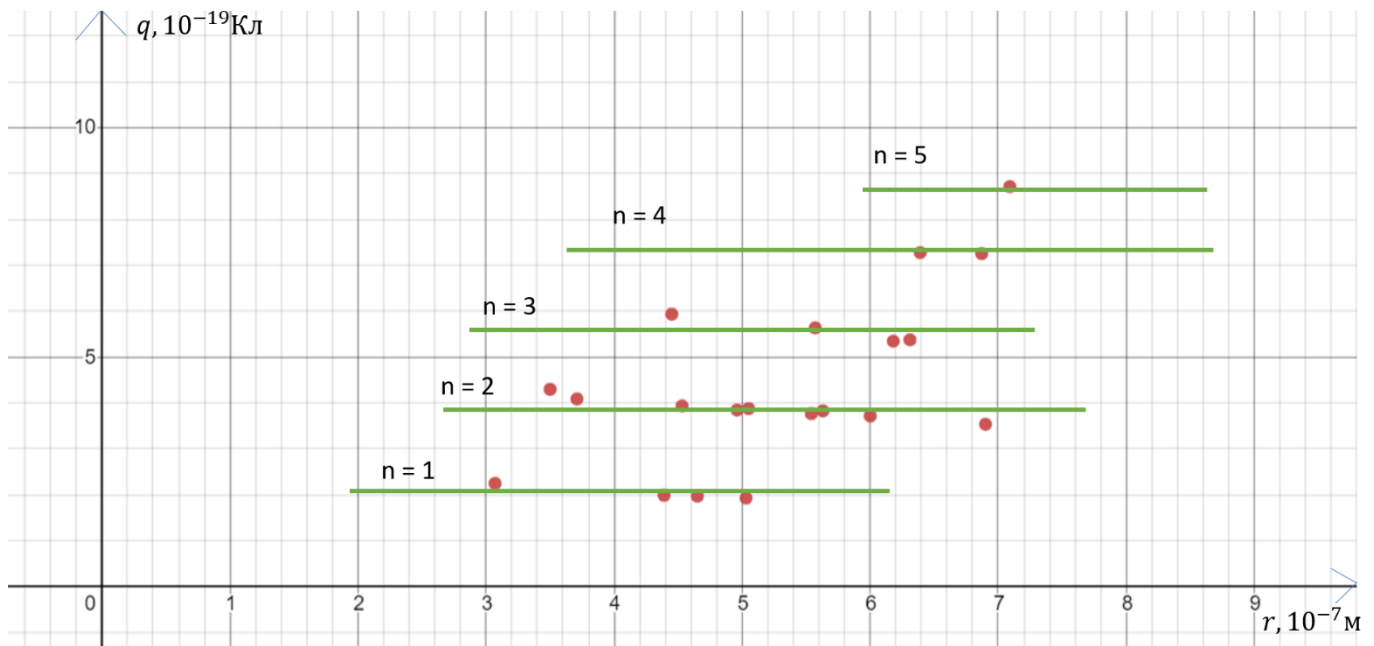


График зависимости заряда капли от ее радиуса.

10. Расчет погрешностей измерений (для прямых и косвенных измерений)

$$\langle e \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N e_i \text{ (формула нахождения среднего значения элем. заряда)}$$

$$N = 20$$

$$\langle e \rangle = \frac{1}{20} (2,15 + \dots + 1,77) = 1,69(10^{-19} \text{ Кл})$$

$$\sigma_e = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N (e_i - \langle e \rangle)^2} \text{ (формула нахождения среднекв. отклонения)}$$

$$\sum_{i=1}^N (e_i - \langle e \rangle)^2 = (2,15 - 1,69)^2 + \dots + (1,77 - 1,69)^2 = 2,41 (10^{-19} \text{ Кл})$$

$$\sigma_e = \sqrt{\frac{1}{20 * 19} * 0,31} = 0,08(10^{-19}\text{Кл})$$

11. Окончательные результаты.

Интервалы полученных значений радиусов капель и значений зарядов капель:

$$r \in [3,07; 7,09] * 10^{-7}(\text{м})$$

$$q \in [1,93; 8,72] * 10^{-19}(\text{Кл})$$

Сравнение полученного оценочного значения элементарного заряда с табличным значением заряда электрона:

$$e_{\text{табл}} = 1,602 * 10^{-19}(\text{Кл})$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta_e}{e_{\text{табл}}} * 100\% = \frac{1,602 - 1,69}{1,602} * 100\% = 5,5\%$$

12. Выводы и анализ результатов работы.

В ходе данной лабораторной работы было исследовано движение заряженных капель в электрическом и гравитационных полях, а также определена величина элементарного заряда. Так как в ходе работы использовалась виртуальная установка, найденное оценочное значение относительно близко к табличному, в то время как при реальном снятии измерений, погрешность могла оказаться существенно больше. Полученное в ходе выполнения оценочное значение элементарного заряда оказалось меньше на 5,5%, связано это с округлением, а также с погрешностями при снятии измерений. Также, в данной лабораторной работе был установлен факт дискретности заряда, это прослеживается в графике.