

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

Вопрос по выбору:

Опыт Милликена.

Выполнили студенты:

Сериков Василий Романович

Группа: Б03-102

Сериков Алексей Романович

Группа: Б03-103

Москва, 2022 г.

Аннотация

Цель работы:

Измерение элементарного заряда методом масляных капель.

В работе используется:

Плоский конденсатор в защитном кожухе, осветитель, измерительный микроскоп, электростатический вольтметр, секундомер, переключатель напряжения, пульверизатор с маслом.

Теоретические сведения:

Если элементарный заряд существует, то все заряды будут ему кратны. В опыте будут измеряться заряды капелек масла, несущих несколько элементарных зарядов.

Для измерения заряда будем исследовать движение капелек в электрическом поле. Уравнение движения капли при свободном падении

$$m \frac{dv}{dt} = mg - F_{\text{тр}}, \quad (1)$$

где m – масса капли, v – её скорость, $F_{\text{тр}} = 6\pi\eta r v = kv$ – сила вязкого трения, r – радиус капли, η – коэффициент вязкости воздуха. Отсюда получаем

$$v = \frac{mg}{k} (1 - e^{-kt/m}). \quad (2)$$

Скорость установится на

$$v_{\text{уст}} = \frac{mg}{k} = \frac{2}{9} \frac{\rho}{\eta} gr^2,$$

где ρ – плотность масла. Установление этой скорости происходит с постоянной

$$\tau = \frac{m}{k} = \frac{2}{9} \frac{\rho}{\eta} r^2$$

Обозначая h путь капли, пройденный за t_0 , получаем формулу для её радиуса:

$$r = \sqrt{\frac{9\eta h}{2\rho g t_0}}. \quad (3)$$

В случае движения в электрическом поле конденсатора с разностью потенциалов V и расстоянием l между пластинами получаем уравнение движения

$$m \frac{dv}{dt} = \frac{qV}{l} - mg - kv, \quad (4)$$

Новое слагаемое не влияет на τ , новая установившаяся скорость

$$v'_{\text{уст}} = \frac{qV/l - mg}{k}.$$

Если t – время подъёма на высоту h , то можно получить формулу заряда капли:

$$\frac{h}{t} = v'_{\text{уст}} = \frac{qV}{kl} - v_{\text{уст}};$$
$$k = 6\pi\eta r = 6\pi\eta \sqrt{\frac{9\eta h}{2\rho g t_0}};$$

$$\Rightarrow q = 9\pi \sqrt{\frac{2\eta^3 h^3}{g\rho}} \cdot \frac{l(t_0 + t_1)}{V t_0^{3/2} t_1}$$

Экспериментальная установка:

Схема установки представлена на рисунке 1. Масло разбрызгивается пульверизатором, попадает на конденсатор C через небольшое отверстие, приобретая заряд из-за трения о воздух.

Напряжение подаётся с выпрямителя и измеряется вольтметром V . Ключ K позволяет менять направление поля конденсатора. При замыкании конденсатор разряжается в $R \approx 10$ МОм.

Для наблюдения за каплями установлен микроскоп, в фокальной плоскости окуляра которого виден ряд горизонтальных линий с предварительно определенным расстоянием между ними. Время движения капель измеряется электронным секундомером.

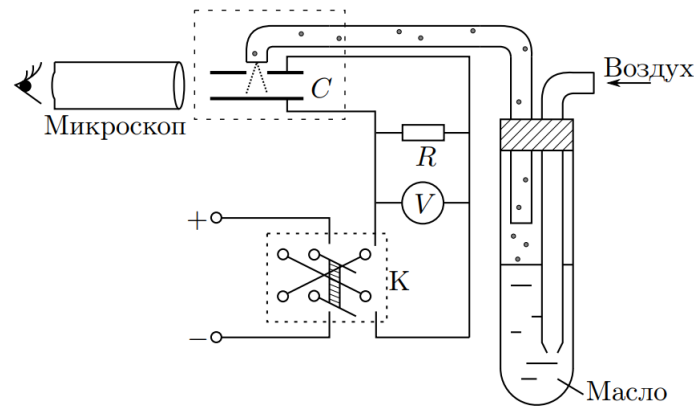


Рис. 1: Установка для проведения опыта Миллиkena

Результаты измерений и обработка данных:

1. Запишем начальные данные и погрешности.

$h = 1$ мм - расстояние, которое проходит капля в эксперименте.

$\rho = 898$ кг/м³ - плотность масла.

$\eta = 1,83 \cdot 10^{-5}$ Па·с - коэффициент трения воздуха.

$l = 0,725$ см - расстояние между пластинами конденсатора.

$V = 500$ В - напряжение с выпрямителя.

$\sigma_h = 0,1$ мм - погрешность измерения пройденного расстояния.

$\sigma_{t_1} = \sigma_{t_0} = 0,3$ с - погрешность измерения времени.

$\sigma_v = 20$ В - погрешность измерения напряжения.

$\sigma_q = q \sqrt{\left(\frac{\sigma_v}{V}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{t_0}}{t(t_0+t)}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{t_1}}{2t_0(t+t_0)}\right)^2}$ - формула для подсчета относительной средне-квадратичной погрешности значения заряда

$\sigma_{q_{\text{ср}}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (q_i - q_{\text{ср}})^2}$ - формула для подсчета погрешности среднего

2. Проведем серию экспериментов по определению времени t_0 и t_1 прохождения расстояния h каплей масла под действием силы тяжести mg и под действием электрической силы qE . По полученным данным определим заряд капель и занесем все результаты в таблицы 1-5.

№ 1				№ 2			
$t_0, \text{ c}$	$t_1, \text{ c}$	$q, \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$	$\bar{q}, \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$	$t_0,$	t_1	$q, \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$	$\bar{q}, \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
63,8	6,2	3,39	3,31	58,2	7,3	3,09	3,13
62,9	6,5	3,27		57,8	7,2	3,14	
64,1	6,5	3,24		58,4	7,2	3,12	
63,3	6,3	3,36		59,1	7,1	3,14	
63,3	6,4	3,31		58,9	7,1	3,15	

№ 3				№ 4			
$t_0, \text{ c}$	$t_1, \text{ c}$	$q, \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$	$\bar{q}, \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$	$t_0,$	t_1	$q, \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$	$\bar{q}, \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
69,3	11,8	1,82	1,80	51,2	4,8	4,81	4,90
68,8	11,6	1,86		52,3	4,9	4,72	
68,9	11,9	1,82		51,8	4,7	4,93	
71,2	12,1	1,75		51,5	4,7	4,95	
70,4	12,3	1,73		51,4	4,6	5,05	

№ 5				№ 6			
$t_0, \text{ c}$	$t_1, \text{ c}$	$q, \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$	$\bar{q}, \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$	$t_0,$	t_1	$q, \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$	$\bar{q}, \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
52,3	8,0	3,05	3,10	61,2	13,5	1,77	1,75
51,9	7,9	3,10		61,4	13,7	1,74	
51,7	8,0	3,07		61,5	13,7	1,74	
51,4	7,8	3,15		61,8	13,5	1,76	
51,5	7,8	3,15		62,0	13,6	1,74	

№ 7				№ 8			
$t_0, \text{ c}$	$t_1, \text{ c}$	$q, \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$	$\bar{q}, \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$	$t_0,$	t_1	$q, \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$	$\bar{q}, \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
50,1	4,6	5,07	5,06	53,5	7,5	3,18	3,17
50,8	4,6	5,04		53,6	7,4	3,21	
50,7	4,7	4,95		53,8	7,5	3,17	
51,5	4,4	5,20		53,7	7,6	3,14	
51,0	4,6	5,02		54,0	7,6	3,13	

№ 9				№ 10			
$t_0, \text{ c}$	$t_1, \text{ c}$	$q, \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$	$\bar{q}, \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$	$t_0,$	t_1	$q, \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$	$\bar{q}, \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
51,1	14,4	1,9	1,85	58,9	7,3	3,07	3,12
51,8	14,8	1,85		58,0	7,2	3,14	
51,5	14,7	1,86		58,4	7,2	3,12	
51,4	14,9	1,83		59,1	7,1	3,14	
51,9	14,8	1,84		58,9	7,1	3,15	

Таблицы 1-5: Полученные данные времени (t_0, t_1) движения капель под действием силы тяжести и электрической силы соответственно, рассчитанные значения заряда капель. $\varepsilon_q \approx 8\%$, $\varepsilon_{\bar{q}} \approx 10\%$

3. Построим прямую, на которой изобразим полученные значения для \bar{q} .

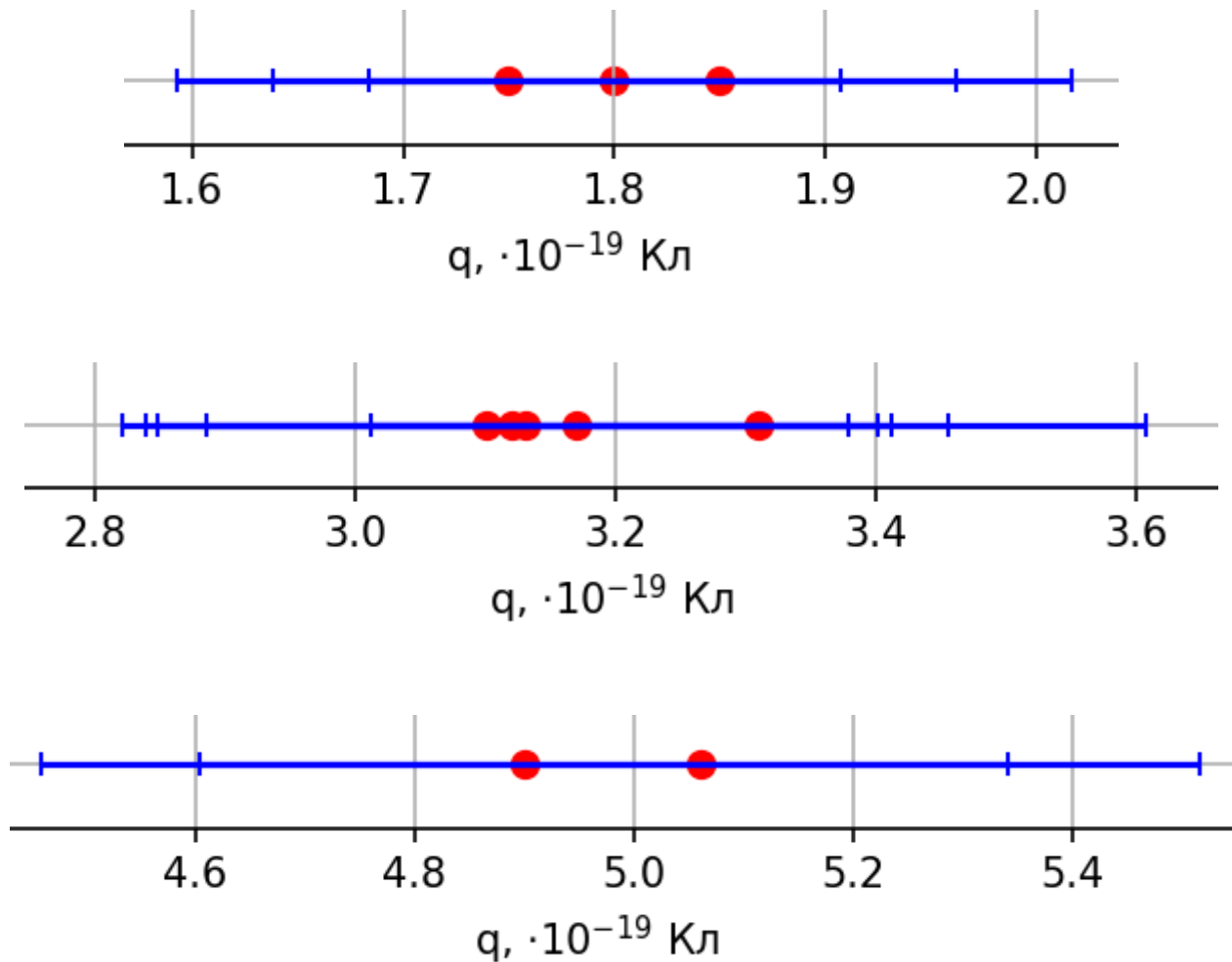


Рис. 2-4: Прямые с полученными значениями \bar{q}

4. Определим среднее значение $q_{\text{ср}}$ в каждой группе и найдем величину элементарного заряда.

$$e_1 = q_{\text{ср}_1} = (1,8 \pm 0,2) \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$q_{\text{ср}_2} = (3,2 \pm 0,3) \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \rightarrow e_2 = q_{\text{ср}_2}/2 = (1,6 \pm 0,2) \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$q_{\text{ср}_3} = (5,0 \pm 0,5) \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \rightarrow e_3 = q_{\text{ср}_3}/3 = (1,7 \pm 0,2) \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

Тогда получим величину элементарного заряда: $e = (1,7 \pm 0,3) \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$, $\varepsilon_e = 18\%$

Обсуждение результатов:

В данной работы мы определили величину элементарного заряда методом заряженных капель - метод Милликена. Полученный нами результат сходится с известным $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$. Отметим, что эксперимент самая сложная часть работы, так как определение

необходимой капли масла и корректное слежение за ее положением трудная задача. Также отметим, что для получения более точных результатов необходимо уменьшать ошибку измерения времени, так как она вносит наибольший вклад в результирующую погрешность.

Литература:

1. Кириченко Н.А. Электричество и магнетизм. — Москва : МФТИ, 2017. — § 7.3.
2. Гладун А.Д. Лабораторный практикум по общей физике. Электричество и магнетизм. — Москва : МФТИ, 2019. — Раздел 3, работа 3.3.3