



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Физика»

Виртуальный практикум

Лабораторная работа № 10-В

ОПЫТ МИЛЛИКЕНА

Авторы

Жданова Т.П.

Кудря А.П.

Лемешко Г.Ф.

Холодова О.М.

Ростов-на-Дону, 2022

Аннотация

Настоящая лабораторная работа посвящена знакомству с первой фундаментальной работой по определению элементарного заряда, а также измерению малых электрических зарядов методом Милликена.

Методические указания предназначены для самостоятельной работы студентов всех форм обучения, изучающих физику, при подготовке и проведении учебного виртуального эксперимента, особенно при дистанционном обучении.

Авторы

к.ф.-м.н., доцент кафедры «Физика»

Жданова Т.П.

ст. преподаватель кафедры «Физика»

Кудря А.П.

к.ф.-м.н., доцент кафедры «Физика»

Лемешко Г.Ф.

ст. преподаватель кафедры «Физика»

Холодова О.М.

Оглавление

Краткая теория.....	4
Подготовка к работе.....	7
Выполнение работы.....	7
Задание 1. Определение заряда масляной капли методом Милликена.....	7
Задание 2. Определение заряда электрона.....	8
Контрольные вопросы.....	11
Список литературы.....	11

- Цель работы: 1) определение заряда масляной капли методом Милликена;
2) определение заряда электрона.

Краткая теория

Впервые измерение элементарного заряда и доказательство дискретности электрического заряда было проведено в классических опытах американского физика Р.Милликена в 1909 -1915 гг.

Идея опыта состояла в определении заряда микроскопической масляной капли сферической формы на основе измерения скорости ее установившегося движения в гравитационном поле и электрическом поле плоского конденсатора.

При распылении из пульверизатора масляные капли заряжаются и попадают в область плоского горизонтального конденсатора. Будем считать, что в пространстве между обкладками конденсатора заряд капля не изменяется (в реальном опыте заряд может изменяться из-за ионизации воздуха космическими лучами, в результате фотоэффекта при взаимодействии фотонов с веществом капли).

► В отсутствие электрического поля капля падает равномерно вертикально вниз под действием трех взаимно уравновешивающих сил: силы тяжести $m\vec{g}$ капли, архимедовой силы \vec{F}_A и силы сопротивления воздуха \vec{F}_C . В проекции на направление движения получаем:

$$mg - F_A - F_C = 0 \quad (1)$$

Модуль силы сопротивления, действующей на шарообразную каплю при ее медленном движении со скоростью v_0 в вязкой жидкой или газообразной среде, как показал английский математик и физик Д.Стокс, зависит от динамической вязкости среды η и радиуса r капли:

$$F_C = 6\pi\eta r v_0. \quad (2)$$

Силы тяжести и Архимеда можно выразить соответственно через плотности масляной капли ρ и воздуха ρ_0 в конденсаторе:

$$mg = \frac{4}{3}\rho\pi r^3 g \quad \text{и} \quad F_A = \frac{4}{3}\rho_0\pi r^3 g. \quad (3)$$

Тогда уравнение (1) примет вид:

$$\frac{4}{3}\pi r^3 g (\rho - \rho_0) = 6\pi\eta r v_0, \quad (4)$$

где v_0 – скорость установившегося равномерного падения капли.

- При подключении электрического поля на каплю действует

сила:

$$F_{\text{Э}} = qE = \frac{qU}{d}, \quad (5)$$

где q - заряд капли; E - напряженность электрического поля конденсатора; U - разность потенциалов между обкладками конденсатора; d - расстояние между пластинами конденсатора.

При равномерном движении капли вверх сила тяжести $m\vec{g}$ и сила сопротивления \vec{F}_C уравниваются электрической $\vec{F}_{\text{Э}}$ и архимедовой \vec{F}_A силами (см. рис.1):

$$F_{\text{Э}} + F_A = F_C + mg. \quad (6)$$

Подставив в (6) уравнения (2), (3) и (5), получим:

$$\frac{qU}{d} - \frac{4}{3}\pi r^3 g (\rho - \rho_0) - 6\pi\eta r v = 0, \quad (7)$$

где v - скорость равномерного подъема капли в конденсаторе.

Совместное решение уравнений (4) и (7) позволяет определить заряд капли:

$$q = 9\pi d \sqrt{\frac{2\eta^3 h^3}{(\rho - \rho_0)g}} \cdot \frac{\sqrt{v_0}}{U} (v + v_0). \quad (8)$$

Скорости v_0 и v находят по времени прохождения каплей расстояния h (расстояние между визирными линиями микроскопа в опыте Милликена): $v_0 = \frac{h}{t_0}$; $v = \frac{h}{t}$, где t_0 - время прохождения

расстояния h в гравитационном поле, t - время ее прохождения расстояния h в электрическом и гравитационном полях.

В результате уравнение (8) примет вид:

$$q = 9\pi d \sqrt{\frac{2\eta^3 h^3}{(\rho - \rho_0)g}} \cdot \frac{1}{U\sqrt{t_0}} \left(\frac{1}{t_0} + \frac{1}{t} \right).$$

Объединив все константы в постоянную измерительной установки

$k = 9\pi d \sqrt{2h^3 \eta^3 / ((\rho - \rho_0)g)}$, упростим расчетную формулу:

$$q = \frac{k}{U\sqrt{t_0}} \left(\frac{1}{t_0} + \frac{1}{t} \right), \quad (9)$$

где $k = 14 \cdot 10^{-15} \frac{\text{Кг} \cdot \text{М}^2}{\text{с}^{0,5}}$.

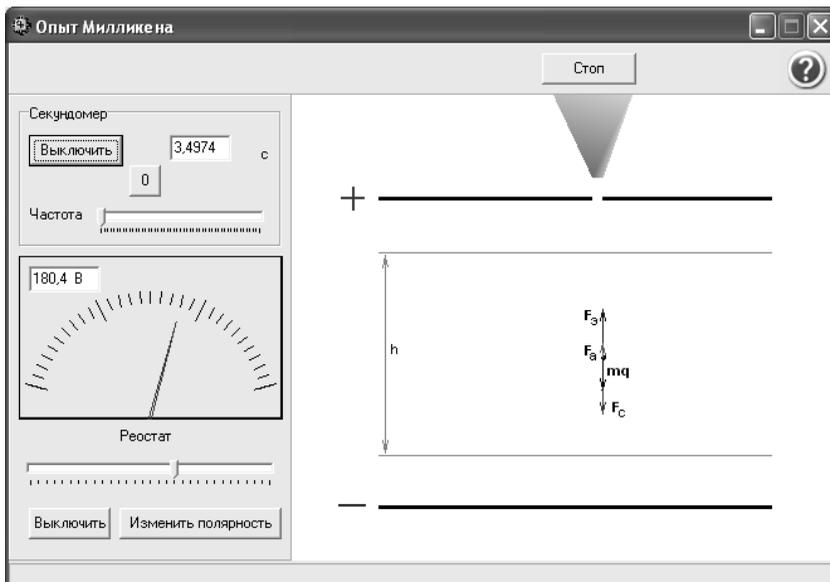


Рис.1

Таким образом, для определения заряда капли достаточно измерить время ее прохождения расстояния h в гравитационном поле (t_0) и в электрическом и гравитационном полях (t).

О программе

Программа в хорошем приближении моделирует исторический опыт Милликена по установлению дискретности электрического заряда и определению его минимальной величины.

Разработана программистом кафедры «Физика» Стибаевым Алексеем Григорьевичем

ФИЗИКА

Подготовка к работе

1. Откройте папку «millikan» и файл «Project2.exe».
2. Откройте окно «Справка» и познакомьтесь с идеей опыта Милликена и биографией ученого.
3. Возвратитесь в активное окно «Опыт Милликена» (рис.1) и познакомьтесь с основными узлами установки и органами ее управления.

В правой части окна изображен плоский конденсатор, между пластинами которого находятся две визирные линии микроскопа, расположенные на расстоянии h друг от друга. В конденсатор, через отверстие в центре верхней пластины, при помощи пульверизатора вводятся (нажатием кнопки «Открыть») капли масла микроскопических размеров. Управление движением капель (капель) осуществляется электрическим полем, создаваемым приложенным к пластинам постоянным напряжением.

В левой части окна расположены: блок питания с регулятором напряжения и переключателем полярности «Изменить полярность»; секундомер; регулятор скорости анимации «Частота». Коммутация блока питания с конденсатором осуществляется кнопкой «Включить/Выключить». Полярность напряжения, приложенного к конденсатору, указывают на его пластинах, а его величину контролируют по вольтметру. Секундомер работает только в процессе движения капель, а его включение, выключение и обнуление производится соответственно кнопками «Включение/ Выключение» и «0».

4. В качестве тренировки: 1) введите в пространство между пластинами несколько капель масла; 2) включите источник тока и установите напряжение примерно 200В; 3) изменяйте полярность и величину напряжения до тех пор, пока между пластинами конденсатора останется одна капля; 4) с помощью электрического поля поднимите эту каплю выше верхней визирной линии микроскопа; 5) выключите источник питания и измерьте секундомером время прохождения капель расстояния h между визирными линиями; 6) обнулите показания секундомера.

Выполнение работы
Задание1. *Определение заряда масляной капли методом Милликена.*

1. Нажатием клавиши пульверизатора «Открыть» введите в пространство между обкладками конденсатора несколько масляных капель. Все капли должны находиться между визирными линиями.
2. Включите источник питания, добейтесь, чтобы одна капля

ФИЗИКА

- начала подниматься. Если капля не поднимается, то поменяйте полярность на обкладках конденсатора клавишей «Изменить полярность».
- Дождитесь, когда капля поднимется электрическим полем над верхней визирной линией и выключите источник питания.
 - Измерьте секундомером время t_0 равномерного движения капли между визирными линиями микроскопа в поле тяготения Земли. Запишите показания секундомера t_0 и «обнулите» его.
 - Не допуская контакта капли с нижней пластиной конденсатора, включите источник питания и измерьте секундомером время t прохождения капель расстояния между визирными линиями в электрическом поле. Запишите показания секундомера t и напряжение U .
 - По формуле (9) вычислите заряд капли.
 - Повторите пункты (1) – (6), предварительно «обнулив» показания секундомера. (Малые заряды капель определяйте при напряжениях $\approx 500 \div 600$ В, а большие заряды – при напряжениях $\approx 200 \div 300$ В).
 - Данные эксперимента занесите в таблицу 1.

Таблица 1

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U, В$										
$t_0, с$										
$t, с$										
$q,$ $10^{-19} Кл$										

Задание2. *Определение заряда электрона.*

- Заряды капель, взятые из таблицы 1, расположите по возрастанию их величины в таблицу 2.

Таблица 2

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$q,$ $10^{-19} Кл$										

ФИЗИКА

2. Постройте график зависимости величины заряда от его порядкового номера $q(N)$.

3. По тангенсу угла наклона интерполирующей прямой определите заряд электрона $e_{\text{экс.}}$.

4. Оцените погрешности измерений по отношению к табличному значению заряда электрона ($e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$) по формуле:

$$\delta = \frac{|e_{\text{экс.}} - e|}{e} 100\% .$$

5. По проделанной работе сделайте вывод.

Примечание.

Задание 2 можно выполнить, используя приложение «Microsoft Excel».

Пример выполнения пунктов 3 и 4 приведен в Приложении:

Приложение

Предположим, что в предлагаемом примере в результате измерений и вычислений по формуле (7) получены 8 различных значений зарядов масляных капель. Рассмотрим алгоритм обработки результатов.

1. Расположите заряды по возрастанию их величины:

N	1	2	3	4	5	6	7	8
$q, 10^{-19} \text{ Кл}$	0,7	1,8	3,5	3,5	4,3	5,2	5,4	8,4

2. Вызовите приложение «Microsoft Excel».
3. Занесите значения зарядов по возрастанию их величины.
4. Активизируйте занесенные данные и вызовите мастера диаграмм.
5. В перечне стандартных типов графиков выберите «График».

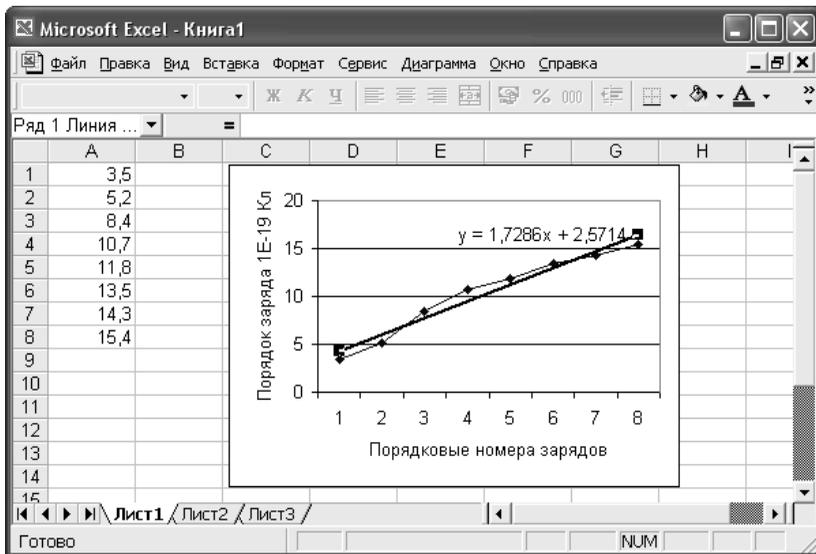


Рис.2

6. Дважды нажмите кнопку «Далее», уберите флажок в окошке «Добавить легенду» и последовательно нажмите кнопки «Далее» и «Готово».

7. Кликните правой кнопкой мышки по графику и в контекстном меню выберите «Добавить линию тренда».

8. Выберите тип «Линейная», а в «Параметрах» поставьте флажок в окошке «Показывать уравнение на диаграмме».

9. Окончательный результат Вы получите после нажатия кнопки «Ок» (см. рис.2).

10. В уравнении прямой коэффициент перед переменной X - это тангенс угла наклона, который численно равен *экспериментальному значению заряда электрона*, т.е. $e_{\text{экс.}} = 1,73 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$.

11. Найдите относительную погрешность по отношению к табличному значению ($e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$):

$$\delta = \frac{|e_{\text{экс.}} - e|}{e} 100\% = \frac{(1,73 - 1,6)10^{-19}}{1,6 \cdot 10^{-19}} 100\% \approx 8\% .$$

Контрольные вопросы

1. В чем состоит идея метода Милликена по определению заряда микроскопических капель?
2. Опишите движение масляной капли в гравитационном поле 1-м законом Ньютона.
3. Запишите закон движения капли снизу вверх в электрическом поле конденсатора.
4. В чем состоит смысл метода Милликена по определению заряда электрона?
5. Укажите, при каких условиях капля «зависнет» в электрическом поле.
6. Запишите уравнение равновесия для неподвижной капли между обкладками конденсатора. Как определить массу и размеры капли.
7. Определите массу и размеры капли.

Литература

1. Савельев И.В. Курс физики Т.2. – М: Наука, 2005.
2. Трофимова Т.И. Курс физики. – М: Высшая школа, 2019.