

Министерство образования Российской Федерации  
Томский политехнический Университет  
Кафедра теоретической и экспериментальной физики

**ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕМЕНТАРНОГО ЗАРЯДА. ОПЫТ МИЛЛИКЕНА**

Методические указания к выполнению  
виртуальной лабораторной работы № КомпЭ–02  
по курсу физики  
для студентов всех специальностей

Составитель: Макиенко А.В.

Томск 2002

УДК 535

Измерение элементарного заряда. Опыт Милликена. Методические указания к выполнению виртуальной лабораторной работы № КомпЭ–02 по физике.

Составитель доцент, к.ф.м.н. Макиенко А.В.

Методические указания рассмотрены и рекомендованы методическим семинаром кафедры теоретической и экспериментальной физики \_\_\_\_\_ 2002г.

Зав. кафедрой

проф. Ю.Л. Пивоваров

**Цель работы:** С помощью метода Милликена (метода масляных капель) проследить за изменением заряда масляных капель и показать что заряд может принимать только дискретную последовательность значений

$$Q = 0, \pm e, \pm 2e, \pm 3e, \dots, \pm ne$$

где  $e$  – заряд электрона.

### Идея опытов Милликена

Согласно основным представлениям электронной теории заряд какого-либо тела возникает в результате изменения содержащегося в нем числа электронов (или положительных ионов, заряд которых равен или кратен заряду электрона). Вследствие этого заряд любого тела должен изменяться только скачкообразно и притом такими порциями, которые содержат целое число зарядов электрона.

Опыты Милликена устанавливали дискретный характер изменения электрического заряда и тем самым подтверждали существование электронов.

В этих опытах маленькая масляная капелька помещалась в однородное электрическое поле, созданное между обкладками плоского воздушного конденсатора. Напряжение между пластинами можно было изменять и точно измерять. Во избежание воздушных потоков конденсатор помещался в защитный кожух, поддерживаемый при неизменной температуре. Мелкие капельки масла создавались при помощи специального распылителя. Движение отдельной капельки масла наблюдали в микроскоп.

### Определение заряда электрона.

Если облучить пространство между обкладками конденсатора рентгеновскими или жесткими ультрафиолетовыми лучами, то за счет фотоэффекта масляная капелька приобретет какой-то заряд. Знак его положителен так как капелька при фотоэффекте теряет электроны. Иногда к капельке могут "прилипнуть" электроны, образующиеся при ионизации молекул воздуха, и тогда знак заряда капельки отрицателен. В любом случае вследствие малого размера капли величина ее заряда невелика: несколько (до десяти) зарядов электрона.

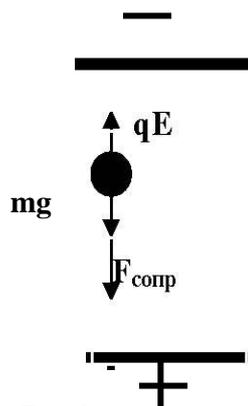


Рис.1

На заряженную каплю, находящуюся между пластинами конденсатора действуют три силы: сила тяжести  $mg$ , сила со стороны электрического поля  $qE$  и сила вязкого трения со стороны воздуха  $F_{сопр}$ . Силой Архимеда со стороны воздуха можно пренебречь, поскольку плотность воздуха меньше плотности масла. Сила сопротивления сферической капли определяется формулой Стокса:  $F_{сопр} = -6\pi \eta r v$

$v$

где  $v$  – скорость движения капли,  $\eta$  - вязкость среды ( коэффициент внутреннего трения воздуха),  $r$  – радиус капли.

Если поле включено, то сначала сила сопротивления мала, и капля движется ускоренно под действием сил  $mg$  и  $qE$ . При этом растет сила сопротивления, и ускорение капли уменьшается до тех пор, пока эта сила не сравняется по величине с равнодействующей сил тяжести и электрической, после чего устанавливается равномерное движение. Время установления равномерного движения ( время релаксации) зависит от отношения подвижности капли

$b = 6\pi \eta r$  к силе тяжести: чем больше это отношение, тем быстрее это движение устанавливается. Для малых капель время релаксации мало, и можно считать с большой степенью точности, что капелька с самого начала движется равномерно. Следовательно

$$qE = mg + bv_E \quad (1)$$

где  $v_E$  –установившаяся скорость масляной капли в электрическом поле.

Учитывая, что  $m = 4/3 \pi r^3 \rho$ ,  $b = 6\pi \eta r$ , получим:

$$qE = 4/3 \pi r^3 \rho g + 6\pi \eta r v_E \quad (2)$$

Равномерное падение капельки в отсутствие электрического поля описывается соответственно уравнением:

$$4/3 \pi r^3 \rho g = 6\pi \eta r v_g \quad (3)$$

Исключив из уравнений (2) и (3) радиус капли, получим формулу для определения заряда капли

$$q = 9\pi\eta \sqrt{\frac{2\eta}{g\rho}} \frac{\sqrt{v_g} (v_g + v_E)}{E} \quad (4)$$

### Описание работы

В этой работе движение капельки масла в электрическом поле и поле тяжести моделируется на экране компьютера. Капелька первоначально помещается в центре конденсатора при помощи кнопки “ установка”.

Значение напряженности поля, создаваемого между пластинами конденсатора, устанавливается мышкой и высвечивается в соответствующем текстовом окне.

Скорость движения частицы измеряется при помощи секундомера. Секундомер следует включать (кнопка”пуск”), когда частица пересечет ближнюю к центру метку, и выключать (“стоп”), когда дальнейю. На участке от центра до ближних к нему симметрично расположенных меток частица разгоняется до постоянной установившейся скорости (она может двигаться как вверх, так и вниз).

### Порядок выполнения работы

#### 1.Определение скорости падения частиц в поле силы тяжести (поля между пластинами конденсатора нет)

Для этого установите напряженность поля равной нулю. Манипулируя кнопками “установка” и “запуск “, а также кнопками секундомера “пуск”,

“стоп “и “сброс” измерьте 10 раз время падения частицы в поле силы тяжести и, зная пройденный путь, вычислите среднее значение скорости  $V_g$ . Данные измерений и вычислений занесите в таблицу 1.  
Таблица 1.

Напряженность электрического поля					Путь, пройденный частицей						
$E = 0$					$S = 50 \cdot 10^{-6} \text{ м.}$						
№измер.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Время изм. $t$											
$t_{\text{ср.}}$											
$V_{\text{ср.}}$											

## 2.Определение скорости движения частицы с учетом электрического поля.

Установите значение напряженности  $E = 4000 \text{ В/м.}$  и измерьте время движения частицы в промежутке между метками. Опыт следует провести большое число (60 – 80) раз, так как, во первых, заряд частицы случайным образом может принимать несколько значений, а во вторых, даже при каждом фиксированном значении заряда результаты измерения времени будут различаться из-за неточности включения и выключения секундомера.

Разбив результаты измерений на группы, внутри которых они различаются не более чем на (0,2 – 0,4) с., найти среднее время движения и соответственно среднюю скорость  $V_{E \text{ ср.}}$  для каждой группы. Результаты измерений и вычислений занесите в

таблицу 2.  
Таблица 2.

$E = 4000 \text{ В/м.}$					$S = 50 \cdot 10^{-6} \text{ м.}$														
$t_{\text{вверх}}$																			
$t_{\text{вверх}}$																			
$t_{\text{вниз}}$																			
$t_{\text{вниз}}$																			
Группа 1		Группа 2			Группа 3			Группа 4			Группа 5								
$t_{1\text{ср.}} =$		$t_{2\text{ср.}} =$			$t_{3\text{ср.}} =$			$t_{4\text{ср.}} =$			$t_{5\text{ср.}} =$								
$V_{\text{ср.1}}$		$V_{\text{ср.2}}$			$V_{\text{ср.3}}$			$V_{\text{ср.4}}$			$V_{\text{ср.5}}$								

Примечание: все случаи в которых перезарядка капли произошла во время ее подъема лучше отбросить.

**3. Вычислить заряд капли по формуле (4) для каждой выделенной группы результатов и проанализировать.**

Для всех вычисленных значений зарядов найдите общий наибольший делитель. Он может, вообще говоря оказаться равным  $e$ ,  $2e$ ,  $3e$  и т.д. Может встретиться группа результатов, соответствующих нулевому заряду. В этом случае частица движется вниз под действием только силы тяжести и скорость  $V_E = V_g$

### **Контрольные вопросы**

1. Для чего воздух в конденсаторе подвергается действию рентгеновских лучей, ультрафиолетовых лучей или излучения радиоактивных препаратов?
2. Почему в данном опыте скорость движения капли можно считать постоянной?
3. Оцените с помощью формулы (4) величину напряжения, которое нужно для подъема капель, несущих заряд равный 3-м зарядам электрона?
4. Какое свойство электрического заряда проверяется в данном опыте?
5. Как изменяется величина заряда частицы при увеличении скорости ее движения?
6. С помощью метода Милликена можно определить заряд электрона. Какие другие методы определения заряда электрона Вы знаете?

Измерение элементарного заряда. Опыт Милликена.

Методические указания к выполнению виртуальной лабораторной работы  
№ КомпЭ-02 по физике

Составитель Антонина Васильевна Макиенко

Рецензент: доц., к.ф.м.н. Н.С. Кравченко

Подписано к печати  
Формат 60x84/16. Бумага офсетная  
Плоская печать. Усл. печ. л.      Уч. изд. л.  
Тираж 200 экз. Заказ      Цена свободная  
Типография ТПУ. 634034, Томск, пр. Ленина, 30