



ЦЕЛЬ ОПЫТА

Выполнение опыта Милликена для подтверждения значения элементарного заряда с помощью заряженных капель масла

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ

Между 1910 и 1913 годами Роберту Эндрюсу Милликену удалось измерить элементарный электрический заряд с беспрецедентной точностью и тем самым подтвердить квантовую природу заряда. Опыт, который теперь носит его имя, основан на измерении количества заряда, переносимого заряженными каплями масла, которые способны подниматься в воздух

под действием электрического поля, создаваемого плоским конденсатором, и опускаться, когда поле отсутствует. Установка Милликена, применяемая в этой версии опыта, использует компактный вариант оборудования, который основан на конструкции Милликена и который не требует источника радиации.

ТРЕБУЕМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Количество	Наименование	№ по каталогу
1	Аппарат Милликена (230 В, 50/60 Гц)	U207001-230 или
	Аппарат Милликена (115 В, 50/60 Гц)	U207001-115

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ

Между 1910 и 1913 годами Роберту Эндрюсу Милликену удалось измерить элементарный электрический заряд с беспрецедентной точностью и тем самым подтвердить квантовую природу заряда. За эту работу он был награжден Нобелевской премией. Опыт, который теперь носит его имя, основан на измерении количества заряда, переносимого заряженными каплями масла, которые способны подниматься в воздух под действием электрического поля, создаваемого плоским конденсатором, и опускаться, когда поле отсутствует. Полученное им значение элементарного заряда $e = (1,592 \pm 0,003) \cdot 10^{-19}$ С отличается от принятого современного значения всего на 0,6%.

На капельку масла (капелька считается сферической), находящуюся в электрическом поле плоского конденсатора, действуют следующие силы: сила тяжести,

$$(1) \quad F_G = m_2 \cdot g = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r_0^3 \cdot \rho_2 \cdot g$$

m_2 : масса капли масла, r_0 : радиус капли масла, ρ_2 : плотность масла, g : ускорение свободного падения архимедова выталкивающая сила для капли в воздухе,

$$(2) \quad F_A = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r_0^3 \cdot \rho_1 \cdot g$$

ρ_1 : плотность воздуха

сила, прилагаемая электрическим полем E ,

$$(3) \quad F_E = q_0 \cdot E = \frac{q_0 \cdot U}{d}$$

q_0 : заряд капли масла, U : напряжение между пластинами конденсатора, d : Разделение пластин конденсатора

и сила трения по закону Стокса

$$(4) \quad F_{R1,2} = 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r_0 \cdot v_{1,2}$$

η : вязкость воздуха, v_1 : скорость подъема, v_2 : скорость опускания

Когда капля масла поднимается в электрическом поле, уравнение равновесия включает в себя следующие силы:

$$(5) \quad F_G + F_{R1} = F_E + F_A$$

При опускании капли уравнение выглядит следующим образом:

$$(6) \quad F_G = F_{R2} + F_A$$

Это подразумевает возможность определения радиуса капли и ее заряда:

$$(7) \quad r_0 = \sqrt{\frac{9}{2} \cdot \frac{\eta \cdot v_2}{(\rho_2 - \rho_1) \cdot g}}$$

и

$$(8) \quad q_0 = \frac{6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot d \cdot (v_1 + v_2)}{U} \cdot r_0$$

Очень маленькие радиусы r_0 имеют тот же порядок, что и средняя длина свободного пробега молекул воздуха. Это подразумевает необходимость коррекции силы трения Стокса. Радиус r с поправкой и заряд q определяются следующими выражениями:

$$(9) \quad r = \sqrt{r_0^2 + \frac{A^2}{4}} - \frac{A}{2}, \text{ где } A = \frac{b}{p}$$

$b = 82 \text{ мкм} \cdot \text{гПа}$ = константа, p : давление воздуха

$$(10) \quad q = q_0 \cdot \left(1 + \frac{A}{r}\right)^{-1.5}$$

Установка Милликена, применяемая в этой версии опыта, использует компактный вариант оборудования, который основан на конструкции Милликена и который не требует источника радиации. Заряженные капли масла подготавливаются с помощью распылителя, после чего воспринятый ими произвольный заряд не подвергается внешним воздействиям. Как и в собственно установке Милликена, капли вводят в экспериментальную камеру сверху. Выбираются подходящие масляные капли, и их заряд определяется путем наблюдения за каплями с помощью измерительного микроскопа. Для каждой из выбранных капель измеряется время подъема на некоторое расстояние в электрическом поле, как и время, требуемое для того, чтобы капля опустилась на то же расстояние при отсутствии поля. Расстояние выбирается таким, чтобы оно соответствовало расстоянию между двумя соседними отметками шкалы окуляра. Полярность пластин конденсатора выбирается в соответствии со знаком заряда. В качестве альтернативы можно применить поле, достаточное для того, чтобы заставить измеряемые капли неподвижно парить на одном месте. Измеренное время подъема и опускания заряженной капли, напряжение, прикладываемое к пластинам, и прочие параметры, относящиеся к оценке результатов, температура, вязкость и давление отображаются на сенсорном экране.

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Скорость подъема и опускания определяется с помощью значений времени t_1 и t_2 , измеренных во время подъема и опускания:

$$v_{1,2} = \frac{s}{V \cdot t_{1,2}}$$

s : расстояние между двумя wybranными метками на шкале окуляра, $V = 2$: увеличение объектива

Исходя из этого заряд q на капле масла рассчитывается с помощью уравнения (10).

Заряды q_i , определенные в ходе этих измерений (таблица 1), делятся на целое число n_i таким образом, чтобы полученные значения минимально отличались от среднего значения. Степень рассеивания относительно среднего значения обозначается стандартным отклонением. Лучшую оценку элементарного заряда e и стандартное отклонение Δe можно определить по значениям e_i , полученным в ходе отдельных измерений, вместе с их индивидуальными отклонениями от среднего значения Δe_i (таблица 1) путем формирования взвешенного среднего значения, как показано ниже:

$$e \pm \Delta e = \frac{\sum w_i \cdot e_i}{\sum w_i} \pm \frac{1}{\sqrt{\sum w_i}} \text{ где } w_i = \left(\frac{1}{\Delta e_i}\right)^2$$

При использовании значений из таблицы 1 это дает следующее:

$$e \pm \Delta e = \frac{1286}{799} \pm \frac{1}{28} = (1,61 \pm 0,04) \cdot 10^{-19} \text{ С}$$

Благодаря этому результат становится все более значимым с увеличением числа выполненных измерений, т. е. чем больше число проб и меньше число n отличающихся зарядов на каплях. Из-за неопределенности измерения, в частности расстояния между пластинами конденсатора и показаний шкалы микроскопа, можно было бы ожидать, что $n \leq 7$.

Таблица 1. Заряды q_i , измеренные на десяти разных каплях масла, и значение e_i , определенное для элементарного заряда

i	Полярность	q_i 10 ⁻¹⁹ С	Δq_i 10 ⁻¹⁹ С	n	e_i 10 ⁻¹⁹ С	Δe_i 10 ⁻¹⁹ С
1	+	-11,1	0,9	-7	1,59	0,13
2	+	-7,9	0,6	-5	1,58	0,12
3	+	-6,2	0,4	-4	1,55	0,10
4	-	3,5	0,2	2	1,75	0,10
5	-	4,9	0,3	3	1,63	0,10
6	-	6,3	0,5	4	1,58	0,13
7	-	6,6	0,4	4	1,65	0,10
8	-	7,6	0,6	5	1,52	0,12
9	-	10,2	0,8	6	1,70	0,13
10	-	10,6	0,8	7	1,51	0,11

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА

- Подготовить и выбрать подходящие капли масла и наблюдать их в электрическом поле.
- Измерить скорость их подъема и в электрическом поле и опускания без него.
- Подтвердить значение элементарного заряда.

Технические сведения об оборудовании изложены на сайте 3bscientific.com