

Условие

5. Для измерения заряда электрона американский физик Роберт Милликен в 1909-1912 годах провел серию экспериментов по исследованию движения маленьких заряженных масляных капель в электрическом поле. В установке Милликена капли масла вбрызгивались в пространство между двумя горизонтальными металлическими пластинами, к которым прикладывалось постоянное электрическое напряжение. С помощью микроскопа проводилось наблюдение за движущимися в воздухе каплями и измерялась скорость их движения. Капли приобретали отрицательный электрический заряд в процессе разбрызгивания. Кроме того, можно было изменять заряд капель, облучая их ультрафиолетовым излучением. Не претендуя на абсолютно точное воспроизведение результатов опытов Милликена, опишем одну из возможных схем проведения эксперимента и приведем их результаты в Таблице 1. В отсутствии электрического поля измеряется значение скорости падения капли v_0 . Если на пластины подать постоянное напряжение U_0 , капля начинает двигаться вверх, измеренная при этом скорость капли обозначена v_2 , измеренное значение радиусов капель r . Плотность масла $\rho = 910 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, расстояние между металлическими пластинами $h = 1,0 \text{ см}$, ускорение свободного падения принять равным $g = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

Для капель микронного радиуса сила вязкого трения пропорциональна скорости их движения. Считать, что в процессе измерения по описанной схеме заряд капли остается постоянным.

Таблица 1.

№	r , мкм	v_0 , $\frac{\text{мм}}{\text{с}}$	U_0 , кВ	v_1 , $\frac{\text{мм}}{\text{с}}$
1	1,3	0,19	5,0	0,18
2	1,7	0,32	5,0	0,51
3	1,7	0,32	5,0	0,24
4	1,2	0,16	5,0	0,23
5	1,4	0,22	5,0	0,29
6	2,0	0,44	5,0	0,39
7	1,6	0,28	5,0	0,46
8	1,5	0,25	5,0	0,38
9	2,2	0,53	5,0	0,22
10	1,4	0,22	5,0	0,63

Определите по этим данным заряд электрона, оцените погрешность полученной величины.



Республиканская олимпиада школьников по физике.

Брест, 2000 год

Решение

10.5 Так как в процессе движения капли на нее действует сила вязкого трения, а масса капли мала, то можно считать движение капли равномерным. Скорость такого движения v_0 можно определить из условия равенства модулей силы тяжести и силы сопротивления

$$mg = \beta v_0, \quad (1)$$

где β - некоторый постоянный для данной капли коэффициент. При движении капли вверх

справедливо соотношение

$$q \frac{U_0}{h} - mg = \beta v_1. \quad (2)$$

Исключая из этих уравнений неизвестный коэффициент β , получаем формулу для определения заряда капли

$$q = \frac{mgh}{U_0} \cdot \left(1 + \frac{v_1}{v_0}\right), \quad (3)$$

где $m = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho$ - масса капли.

Для удобства дальнейших расчетов, подставим численные значения постоянных величин, причем запишем $r = r_0 \cdot 10^{-6}$, где r_0 - значение радиуса капли в микронах; $U_0 = u_0 \cdot 10^3$, где u_0 - значение напряжения в киловольтах. Так как в формулу (3) входит отношение скоростей, то нет необходимости переводить их размерности в систему единиц СИ. Таким образом получим расчетную формулу

$$q = 0,747 \cdot 10^{-19} \cdot r_0^3 \left(1 + \frac{v_1}{v_0}\right). \quad (4)$$

Результаты расчетов представим в Таблице 2, дополнив ее необходимыми столбцами.

Таблица 2.

№	r , мкм	v_0 , $\frac{\text{мм}}{\text{с}}$	U_0 , кВ	v_1 , $\frac{\text{мм}}{\text{с}}$	q , 10^{-19} Кл	n	e , 10^{-19} Кл
1	2	3	4	5	6	7	8
1	1,3	0,19	5,0	0,18	3,20	2	1,60
2	1,7	0,32	5,0	0,51	9,52	6	1,59
3	1,7	0,32	5,0	0,24	6,42	4	1,61
4	1,2	0,16	5,0	0,23	3,15	2	1,57
5	1,4	0,22	5,0	0,29	4,75	3	1,58
6	2,0	0,44	5,0	0,39	11,27	7	1,61
7	1,6	0,28	5,0	0,46	8,09	5	1,62
8	1,5	0,25	5,0	0,38	6,35	4	1,59
9	2,2	0,53	5,0	0,22	11,26	7	1,61
10	1,4	0,22	5,0	0,63	7,92	5	1,58

Можно заметить, что рассчитанные значения зарядов, приведенные в столбце 6, приблизительно кратны величине 1,6. Разделим величины зарядов на 1,6 и округлим полученное значение до целого числа n , равного числу избыточных электронов на капле (столбец 7). Затем разделим величину заряда капли на количество избыточных электронов и получим значение заряда электрона

(столбец 8). Далее необходимо традиционным образом провести усреднение полученных значений и оценку погрешности.

$$\bar{e} = \frac{\sum_k e_k}{n} \approx 1,60, \quad \Delta e = 2 \sqrt{\frac{\sum_k (e_k - \bar{e})^2}{n(n-1)}} \approx 0,01.$$

Таким образом, полученное значение заряда электрона

$$e = (1,60 \pm 0,01) \cdot 10^{-19} \text{ Кл}.$$

Заметим, что в своих опытах Р.Милликен получен несколько заниженное значение величины заряда электрона.

Заметим, что в своих опытаз Р.Милликен получен несколько заниженное значение величины заряда электрона.

