



### Задача 10-3 Опыты Ш. Кулона

Эта задача составлена по данным, приведенным в работе Ш. Кулона «Первый мемуар по электричеству и магнетизму. Конструкция и применение электрических весов, основанных на свойстве металлических нитей иметь силу реакции при кручении, пропорциональную углу кручения», представленной в виде доклада на заседании в Королевской академии наук в 1785 году и опубликованной в 1788 году<sup>4</sup>. Цитаты из этого сочинения выделены курсивом.

В задаче приводятся численные данные в системе единиц, принятой во Франции в конце XVIII века. Вы же должны приводить численные ответы в системе СИ.

Для перевода единиц используйте следующие данные:

1 дюйм (французский) = 2,707 см;

1 линия = 1/12 дюйма;

1 фут = 12 дюймов;

1 гран (единица массы и силы<sup>5</sup>) = 64,8 мг

Ускорение свободного падения считайте равным  $g = 9,81 \frac{M}{c^2}$ . Электрическая постоянная

$$\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \frac{A^2 \cdot c^4}{KZ \cdot M^3}$$

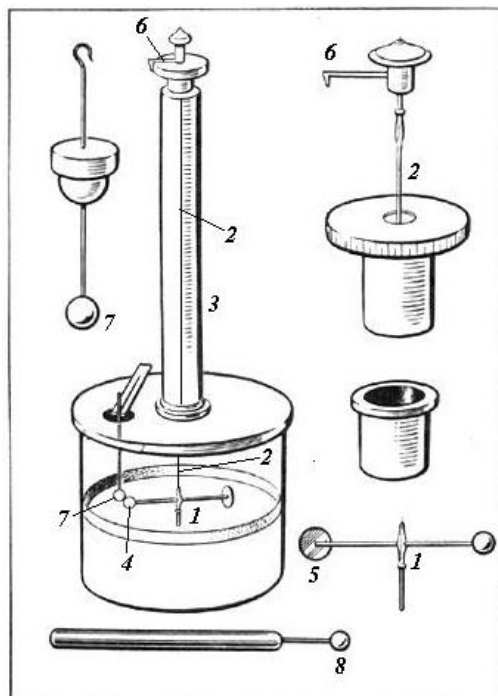
Схема установки (крутильных весов) Ш. Кулона широко известна и показана на рисунке. Основными деталями весов являются:

1 – коромысло, на котором закреплены шарик из бузины 4 и противовес 5;

2 – тонкая серебряная нить, к нижнему концу которой прикреплено коромысло с шариком и противовесом, в положении равновесия коромысло располагается горизонтально; расстояние от центра шарика до точки подвеса (плечо коромысла) равно  $r_0 = 4,0$  дюйма;

верхний конец нити прикреплен к угловому микрометру 6. Указатель микрометра можно вращать и измерять угол закручивания;

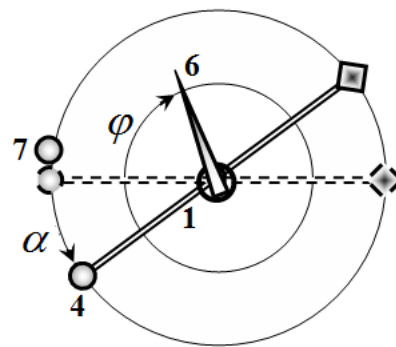
второй шарик из бузины 7 закрепляется неподвижно. Вся система помещена в стеклянный цилиндрический сосуд, на боковой поверхности которого расположена угломерная шкала, позволяющая измерять угол поворота коромысла. Шарикам 4 (на подвижном коромысле) и 7 (на неподвижном креплении) можно сообщать электрический заряд с помощью металлического шарика 8 на отдельной ручке. В состоянии равновесия (при отсутствии зарядов на шариках) коромысло располагается так, что шарики касаются друг друга, нить подвеса при этом не закручена, указатель углового микрометра установлен на нуль.



<sup>4</sup> Перевод работы опубликован в книге Голин Г.М., Филонович С.Р. Классики физической науки (с древнейших времен до начала XX века): Справ. пособие. – М.: Высш. школа., 1989 г

<sup>5</sup> Для перевода в единицы силы массу следует умножить на ускорение свободного падения.

Измерения проводились следующим образом. Шарикам 4 и 7 сообщают электрические заряды и приводят их в соприкосновение (при этом их электрические заряды выравниваются). Коромысло поворачивается (угол поворота обозначен  $\alpha$ ), при необходимости с помощью головки углового микрометра нить можно дополнительно закрутить (угол закручивания обозначен  $\varphi$ ). Отметим, что  $\varphi$  - угол поворота указателя углового микрометра.



### Часть 1. Свойства нити подвеса.

*«В Мемуаре, представленном в академию в 1784 году я на основе эксперимента определил закон для силы кручения металлической нити и обнаружил, что эта сила пропорциональна углу закручивания нити...»*

Это высказывание можно представить в виде формулы: момент сил упругости  $M_{\text{упр.}}$ , возникающий при закручивании металлической нити рассчитывается по формуле

$$M_{\text{упр.}} = -G\varphi \quad (1)$$

здесь  $G$  - коэффициент пропорциональности (модуль кручения), зависящий от материала нити и ее размеров – длины и радиуса,  $\varphi$  - угол закручивания нити в радианах.

*«Серебряная нить, которая образует подвес, имеет длину 28 дюймов и эта нить настолько тонка, что фут длины этой нити весит всего  $\frac{1}{16}$  грана. Рассчитывая силу, с которой следует подействовать на коромысло, в точке, удаленной на 4,0 дюйма от нити, или от центра подвеса, я нашел, что... для закручивания нити на  $360^\circ$  необходимо приложить силу всего в  $\frac{1}{340}$  грана.»*

1.1 Определите по приведенным данным диаметр нити подвеса. Плотность серебра  $\rho_{\text{Ag}} = 10,5 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ .

1.2 Рассчитайте модуль кручения нити  $G$ .

### Часть 2. Фундаментальный закон электричества.

*«Я привожу здесь только несколько измерений, которые легко повторить и которые тут же делают зримым закон отталкивания.»*

*При электризации двух шариков с помощью головки булавки, когда указатель микрометра установлен на нуль, шарик 4 удалился от шарика 7 на угол  $36^\circ$ ;*

*При закручивании нити подвеса посредством головки микрометра на  $126^\circ$  два шарика сблизилась и остановились на расстоянии  $18^\circ$  один от другого.*

*При закручивании нити подвеса на  $567^\circ$  два шарика сблизилась до  $8,5^\circ$ »*

2.1 Используя приведенные данные, постройте график зависимости силы взаимодействия между шариками от расстояния между ними.

Не забудьте подписать и оцифровать оси координат.

2.2 Покажите, что результаты эксперимента подтверждают зависимость силы электрического взаимодействия от расстояния, которая ныне называется законом Кулона.

2.3 Рассчитайте величины зарядов шариков в данном эксперименте. Постарайтесь, чтобы погрешность результата была минимальной.

### **Часть 3. Утечка заряда.**

*«Электричество на двух шариках немного уменьшается в зависимости от времени, которое длится эксперимент. Я проверил, что в тот день, когда был проведен описанный выше опыт, наэлектризованные шарики, находившиеся на расстоянии  $30^\circ$  один от другого при угле кручения  $50^\circ$ , сближались на  $1^\circ$  за 3 минуты»*

3.1 Оцените удельное сопротивление воздуха в день проведения эксперимента.