

Если заряды  $q_1$  и  $q_2$  находятся в вакууме ( $\epsilon = 1$ ) на том же расстоянии  $r$  друг от друга, то сила их взаимодействия численно равна

$$F_0 = \kappa \frac{q_1 q_2}{r^2}. \quad (1.5')$$

Из (1.5) и (1.5') следует

$$\epsilon = F_0/F. \quad (1.6)$$

5. Необходимо специально подчеркнуть, что соотношения (1.4), (1.5) и (1.6) отнюдь не универсальны в отличие от формулы (1.5'), выражающей закон Кулона для вакуума. Они верны, если точечные заряды  $q_1$  и  $q_2$  находятся в однородном, безграничном и изотропном газе, образном или жидком диэлектрике. В этом случае уменьшение силы  $F$  по сравнению с  $F_0$  в  $\epsilon$  раз обусловлено **явлением электрострикции**, т. е. деформации диэлектрика под влиянием заряженных тел. При деформации жидкие и газообразные диэлектрики, прилегая вплотную к заряженным телам, производят на них дополнительное механическое воздействие. В твердых диэлектриках заряженные тела (заряды  $q_1$  и  $q_2$ ) всегда располагаются внутри каких-то полостей и расчет сил  $F_{12}$  и  $F_{21}$ , действующих на заряды  $q_1$  и  $q_2$ , сильно осложняется. Оказывается, что при прочих равных условиях эти силы зависят от формы тех полостей, в которых находятся рассматриваемые заряды.

### § 1.3. Системы единиц электрических величин

1 Для электрических величин приняты две системы единиц: Международная система единиц (СИ) и абсолютная электростатическая система единиц СГСЭ.

В СИ использованы семь основных единиц и две дополнительные (см. табл. 1.1).

Таблица 1.1

Единица	Физическая величина	Обозначение единицы
<i>Основные</i>		
метр	длина	м
килограмм	масса	кг
секунда	время	с
моль	количество вещества	моль
кельвин	температура	К
ампер	сила электрического тока	А
кандела	сила света	кд
<i>Дополнительные</i>		
радиан	плоский угол	рад
стерадиан	телесный угол	ср

2. Определения первых пяти основных единиц СИ были приведены в первом томе курса. Единица силы света — кандела — используется только в фотометрии. Поэтому здесь мы на ней не останавливаемся. Единица силы тока — ампер — устанавливается на основе закона магнитного взаимодействия проводников с током. Ее определение будет дано в § 15.3.

За единицу электрического заряда в СИ, называемую **кулон** (Кл), принимают количество электричества, проходящее через поперечное сечение проводника при токе в 1 А за время 1 с:  $1 \text{ Кл} = 1 \text{ А} \cdot \text{с}$ . В СИ коэффициент  $k$  в формуле (1.5) закона Кулона принимают равным

$$k = 1/4\pi\epsilon_0 \quad (1.7)$$

Величину  $\epsilon_0$  называют **электрической постоянной**. Учитывая (1.7), закон Кулона записывают в виде

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}. \quad (1.8)$$

Такая форма записи закона Кулона и всех вытекающих из него законов электростатики общепринята в электро- и радиотехнике и называется **рационализованной**. В дальнейшем все изложение электростатики мы будем проводить, пользуясь только рационализованной формой уравнений. Произведение  $\epsilon\epsilon_0$  часто называют **абсолютной диэлектрической проницаемостью** среды.

3 В основу системы единиц СГСЭ положены единицы системы СГС для механических величин: сантиметр (см), грамм массы (г) и секунда (с). Коэффициент  $k$  считается безразмерным и равным единице. Закон Кулона записывается в этой системе единиц в следующей (н е р а ц и о н а л и з о в а н н о й) форме:

$$F = q_1 q_2 / r^2. \quad (1.8')$$

Если взаимодействующие заряды равны друг другу ( $q_1 = q_2 = q$ ) и находятся в вакууме ( $\epsilon = 1$ ), то

$$F = q^2 / r^2.$$

Эта формула используется для определения единицы электрического заряда: если  $F = 1$  дин и  $r = 1$  см, то  $q$  равняется единице заряда. Следовательно, за единицу заряда в системе СГСЭ (СГСЭ<sub>q</sub>) принимается такой точечный заряд, который действует в вакууме на равный ему точечный заряд, отстоящий от него на расстоянии в один сантиметр, с силой в одну дину. На основании опытов установлено, что

$$1 \text{ СГСЭ}_q = 1/(3 \cdot 10^9) \text{ Кл}.$$

4. Для определения числового значения электрической постоянной  $\epsilon_0$  в СИ вычислим силу взаимодействия двух одинаковых точечных зарядов  $q_1 = q_2 = 1$  Кл, находящихся в вакууме на расстоянии  $r = 1$  м друг от друга. По формуле (1.8') эта сила, выраженная в ньютонах, равна

$$F = \frac{3 \cdot 10^9 \cdot 3 \cdot 10^9}{100^2} \text{ дин} = 9 \cdot 10^{14} \text{ дин} = 9 \cdot 10^9 \text{ Н.}$$

Следовательно, по формуле (1.8) имеем

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 = \text{Н} \cdot \text{м}^2/\text{Кл}^2 \text{ и } \epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Кл}^2/(\text{Н} \cdot \text{м}^2).$$

### Вопросы для повторения

1. Сформулируйте закон сохранения зарядов.  
2. Напишите закон Кулона в нерационализованной и рационализованной формах.

3. Как влияет диэлектрическая среда на взаимодействие помещенных в нее двух точечных зарядов?

4. Что такое электрическая постоянная и чему она равна в СИ?

### Примеры решения задач

**Задача 1.1.** Два маленьких шарика массой по 0,005 г каждый висят на шелковых нитях длиной 6 см, закрепленных в одной точке. Когда шарикам сообщили одинаковые по величине и знаку заряды  $q$ , нити разошлись на угол  $60^\circ$ . Определить величину заряда.

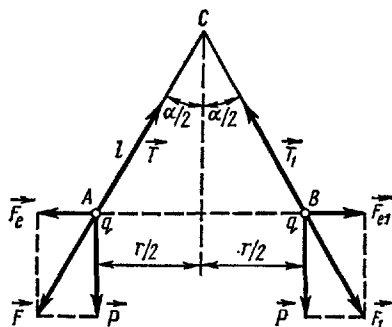


Рис. 1.2

Дано:

$$m = 5 \cdot 10^{-6} \text{ кг}$$

$$l = 6 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$\epsilon = 1 \text{ (воздух)}$$

$$\alpha = 60^\circ$$

$$q = ?$$

**Решение.** Шарик А находится в равновесии, если равнодействующая  $F$  его силы тяжести  $P = mg$  и электрической силы  $F_e$ , действующей на него со стороны заряда шарика В, уравновешивается силой реакции  $T$  нити (рис. 1.2). Следовательно, сила  $F$  должна быть направлена вдоль нити, а для этого необходимо, как видно из рис. 1.2, чтобы

$$\text{tg}(\alpha/2) = F_e/mg. \quad (a)$$

Заряды шариков можно считать точечными. По закону Кулона (1.8) для взаимодействия точечных зарядов имеем

$$F_e = q^2/4\pi\epsilon_0 r^2, \quad (б)$$

где  $r = 2l \sin(\alpha/2)$ . Решая совместно (а) и (б), получим:

$$\text{tg}(\alpha/2) = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 \epsilon \cdot 4l^2 \sin^2(\alpha/2) mg},$$

$$q = 4l \sin(\alpha/2) \sqrt{\pi\epsilon_0 \epsilon mg \text{tg}(\alpha/2)}.$$

Производим вычисления в СИ:

$$\begin{aligned} q &= 4l \sin(\alpha/2) \sqrt{\pi\epsilon_0 \epsilon mg \text{tg}(\alpha/2)} = \\ &= 4 \cdot 6 \cdot 10^{-2} \cdot 0,5 \sqrt{3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 5 \cdot 10^{-6} \cdot 9,8 \cdot 0,577} \text{ Кл} = \\ &= 3,4 \cdot 10^{-9} \text{ Кл} = 3,4 \text{ нКл}. \end{aligned}$$