

Часть 3

ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

Глава 10. ЭЛЕКТРОСТАТИКА

10.1. Электризация тел. Дискретность заряда. Закон сохранения заряда. Закон Кулона

10.1.1. Какой заряд приобрел бы свинцовый шарик радиусом $R = 1$ см, если бы удалось у каждого атома «отнять» по одному электрону и удалить с шарика?

10.1.2. Медная монета массой $m = 5$ г обладает положительным зарядом $q = 0,8$ мкКл. Какую долю своих электронов потеряла монета?

10.1.3. Два одинаковых металлических шарика с одноименными зарядами, величины которых относятся как $1 : 3$, привели в соприкосновение. При этом заряд одного из шариков увеличился на $\Delta q = 2 \cdot 10^{-8}$ Кл. Найдите заряд каждого шарика до взаимодействия.

10.1.4. Два одинаковых шарика с разными по величине одноименными зарядами привели в соприкосновение. При этом заряд одного из шариков увеличился на $n = 40\%$. Найдите отношение начальных зарядов шариков.

10.1.5. У металлической сферы диаметром $d = 40$ см поверхностная плотность зарядов $\sigma = 3 \cdot 10^{-6}$ Кл/м². Определите заряд сферы.

10.1.6. Найдите силу электрического отталкивания двух электронов, находящихся на расстоянии $r = 10^{-10}$ м друг от друга.

10.1.7. Два заряда¹⁾ находятся на расстоянии R друг от друга. Как изменится сила взаимодействия, если: а) увеличить один из зарядов в 2 раза; б) оба заряда уменьшить в 2 раза; в) увеличить расстояние между зарядами в 2 раза?

10.1.8. Два заряда q_1 и q_2 находятся на расстоянии R друг от друга. Если расстояние между ними уменьшается на $\Delta R = 50$ см, то сила взаимодействия увеличивается вдвое. Найдите расстояние R .

10.1.9. Во сколько раз изменится сила, действующая между двумя зарядами, если расстояние между ними уменьшить на $\eta = 20\%$?

¹⁾ В задачах этого параграфа под термином «заряд» подразумевают заряженные тела или частицы, которые, если нет специальных оговорок, считают точечными и находящимися в вакууме (воздухе).

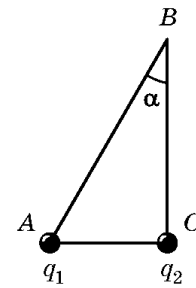


Рис. 10.1.1

10.1.10. Два маленьких шарика с зарядами $q_1 = 0,8$ мкКл и $q_2 = -0,2$ мкКл закреплены в вершинах A и C прямоугольного треугольника с углом $\alpha = 30^\circ$ и гипотенузой $AB = 6$ см (рис. 10.1.1). На сколько изменится сила, действующая на шарик с зарядом q_1 со стороны заряда q_2 , если шарик с зарядом q_2 переместить из вершины C в вершину B?

10.1.11. Две одинаковые частицы с зарядом $q = 6$ мкКл каждая находятся в вакууме. Какой по модулю заряд нужно перенести с одной частицы на другую, чтобы сила их взаимодействия уменьшилась в $n = 4$ раза?

10.1.12. На двух одинаковых каплях воды находится по одному «лишнему» электрону, причем сила электростатического отталкивания капелек уравнивает силу их гравитационного притяжения. Каковы радиусы капелек? Заряд электрона $|e| = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, плотность воды $\rho = 1$ г/см³.

10.1.13. На двух одинаковых каплях масла радиусом $r = 8,22 \cdot 10^{-3}$ м находятся одноименные равные заряды. Определите модуль этих зарядов, если сила кулоновского отталкивания уравнивает силу гравитационного притяжения капель.

10.1.14. С какой силой притягивались бы два одинаковых свинцовых шарика диаметром $d = 1$ см, расположенных на расстоянии $R = 1$ м друг от друга, если у каждого атома первого шарика «отнять» по одному электрону и перенести их на второй шарик?

10.1.15. С какой силой будут взаимодействовать протоны и электроны, содержащиеся в алюминиевом шарике массой $m = 1$ г, если их развести на расстоянии $R = 1$ м? Число электронов в атоме алюминия $Z = 13$.

10.1.16. Два заряженных шарика в вакууме на расстоянии $r = 1$ м друг от друга притягиваются с силой $F = 1$ Н. Суммарный заряд шариков $Q = 4 \cdot 10^{-4}$ Кл. Определите заряд каждого шарика.

10.1.17. Два одинаковых металлических шарика с зарядами $q_1 = 2 \cdot 10^{-6}$ Кл и $q_2 = -2,5 \cdot 10^{-6}$ Кл привели в соприкосновение и вновь развели на прежнее расстояние $R = 30$ см. Определите: а) заряд каждого шарика после соприкосновения; б) силу взаимодействия шариков до и после соприкосновения; в) модуль изменения силы и изменение модуля силы взаимодействия шариков.

10.1.18. Два одинаковых металлических шарика зарядили так, что заряд одного из них в $n = 5$ раз больше другого. Шарики привели в соприкосновение и раздвинули на прежнее расстояние. Во сколько раз изменится модуль силы их взаимодействия, если заряды: а) одноименные; б) разноименные?

10.1.19. Докажите, что если два одинаковых металлических шарика, заряженных одноименными неравными зарядами, привес-

ти в соприкосновение, а затем раздвинуть на прежнее расстояние, то сила взаимодействия обязательно увеличится.

10.1.20. Одинаковые шарики массой $m = 2$ г каждый подвешены на нитях так, как показано на рисунке 10.1.2. Заряд верхнего шарика $q_1 = 2 \cdot 10^{-7}$ Кл, нижнего $q_2 = 5 \cdot 10^{-6}$ Кл. Найдите силу натяжения T каждой нити, если заряды: а) одноименные; б) разноименные. Расстояние между шариками $R = 30$ см.

10.1.21. Два одинаковых шарика, соединенные непроводящей невесомой пружиной жесткостью k , лежат на гладком горизонтальном столе. При сообщении шарикам одинаковых по модулю зарядов $|q|$ пружина сжалась на Δx . Найдите длину недеформированной пружины.

10.1.22. К нижнему концу невесомой пружины жесткостью k и длиной L , подвешенной к потолку, прикрепили небольшой шарик массой m и зарядом q_1 . Какой точечный одноименный заряд необходимо поместить в точку подвеса пружины, чтобы расстояние между зарядами стало равным $2L$?

10.1.23. На двух одинаковых нитях длиной $l = 40$ см, закрепленных в одной точке, подвешены два шарика массой $m = 0,9$ г каждый. При сообщении шарикам одинаковых зарядов нити разошлись, образовав угол $\alpha = 60^\circ$. Найдите: а) силу кулоновского взаимодействия зарядов; б) заряд каждого шарика.

10.1.24. Заряженный шарик массой $m = 2$ г подвешен на нити. При приближении к нему заряда $q_2 = 278$ нКл нить отклоняется на угол $\alpha = 45^\circ$, если расстояние между зарядами $R = 6$ см (рис. 10.1.3). Найдите заряд q_1 шарика.

• **10.1.25.** Один шарик закреплен, а второй подвешен на непроводящей нити так, что они находятся в соприкосновении (рис. 10.1.4). Длина нити $l = 0,2$ м, масса шарика на нити $m = 15$ г. Шарикам сообщают одинаковые заряды, после чего подвижный шарик отклоняется на угол $\alpha = 60^\circ$. Найдите заряд q каждого шарика.

10.1.26. На двух одинаковых нитях, образующих угол $\alpha = 90^\circ$, подвешен шарик массой $m = 1$ г и зарядом $q = 80$ нКл (рис. 10.1.5). На какое расстояние R нужно поднести к шарикам снизу такой же заряд, чтобы сила натяжения нити уменьшилась в 2 раза?

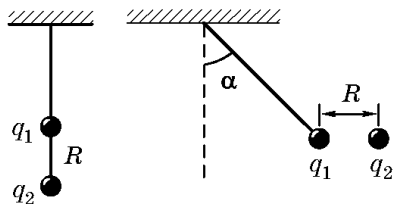


Рис. 10.1.2

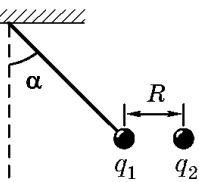


Рис. 10.1.3

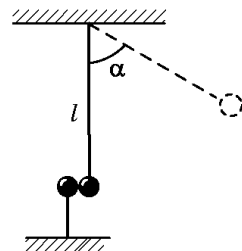


Рис. 10.1.4

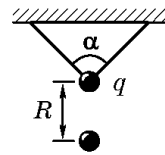


Рис. 10.1.5

10.1.27. У основания гладкой наклонной плоскости с углом наклона к горизонту $\alpha = 30^\circ$ закреплен заряженный шарик. Второй шарик, одноименно заряженный с первым, находится в равновесии на плоскости. Во сколько раз изменится расстояние между шариками, если угол наклона плоскости увеличить в 2 раза?

10.1.28. У шарика массой $m_1 = 20$ г заряд $q_1 = 10$ нКл, у шарика массой $m_2 = 30$ г заряд $q_2 = 20$ нКл. Шарик соединены нитью длиной $l = 20$ см и лежат на гладком горизонтальном столе. Чему равна сила натяжения нити? Какую минимальную силу нужно приложить к шарикам, чтобы нить не провисала?

10.1.29. Отрицательно заряженная частица движется по окружности радиусом $R = 1$ м со скоростью $v = 100$ м/с вокруг положительно заряженной неподвижной частицы. Модули зарядов частиц одинаковы и равны $q = 100$ мкКл. Найдите массу движущейся частицы.

10.1.30. Шарик массой m и зарядом $-q$, подвешенный на шелковой нити, вращают вокруг вертикальной оси так, что нить образует с вертикалью угол α . Неподвижный заряд $+q$ находится на оси вращения на расстоянии l от шарика (рис. 10.1.6). Определите силу натяжения нити и период обращения шарика.

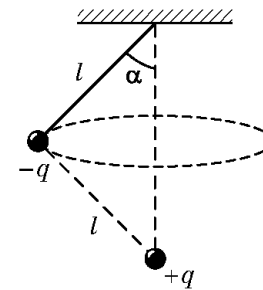


Рис. 10.1.6

Ответы:

10.1.1. $q = \frac{4\pi\epsilon_0 R^3 N_A}{3M} = 2,19 \cdot 10^4$ Кл.

10.1.2. $\eta = \frac{qM}{emN_A Z} = 3,7 \cdot 10^{-12}$.

10.1.3. $q_1 = \Delta q = 2 \cdot 10^{-8}$ Кл;
 $q_2 = 3\Delta q = 6 \cdot 10^{-8}$ Кл.

10.1.4. $\frac{q_2}{q_1} = \frac{n}{50} + 1 = 1,8$.

10.1.5. $q = \sigma\pi d^2 = 1,5 \cdot 10^{-6}$ Кл.

10.1.6. $F = \frac{ke^2}{r^2} = 2,3 \cdot 10^{-8}$ Н.

10.1.7. а) Увеличится в 2 раза; б) уменьшится в 4 раза; в) уменьшится в 4 раза.

10.1.8. $R = \Delta R(2 + \sqrt{2}) = 1,7$ м.

10.1.9. Увеличится в $\frac{1}{(1-\eta)^2} = 1,56$ раза.

10.1.10. $\Delta F = \frac{k|q_1||q_2|}{AB^2} \sqrt{17 - 8 \sin \alpha} = 1,44$ Н $\left(k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{м}}{\text{Ф}}\right)$.

$$10.1.11. \Delta q = q \left(1 - \frac{1}{\sqrt{n}} \right) = 3 \text{ мкКл.}$$

$$10.1.12. r = \left(\frac{9}{16} \frac{k e^2}{\pi^2 G \rho^2} \right)^{1/6} \approx 7,6 \times 10^{-5} \text{ м.}$$

$$10.1.13. q = \frac{4}{3} \pi \rho r^3 \sqrt{\frac{G}{k}} \approx 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ Кл.}$$

$$10.1.14. F = \frac{\pi^2 e^2 \rho_{\text{св}}^2 N_A^2 d^6}{36 M_{\text{св}}^2 R^2} \approx 6,8 \times 10^{16} \text{ Н.}$$

$$10.1.15. F = k \left(\frac{Z e m N_A}{M R} \right)^2 = 1,92 \times 10^{19} \text{ Н, где } M \text{ — молярная масса алюминия, } N_A \text{ — постоянная Авогадро.}$$

$$10.1.17. \text{ а) } q = \frac{q_1 + q_2}{2} = -0,25 \text{ мкКл;}$$

$$\text{ б) } F_1 = \frac{k |q_1| |q_2|}{R^2} = 0,5 \text{ Н;}$$

$$F_2 = \frac{k |q_1 + q_2|^2}{4 R^2} = 25 \text{ мН;}$$

$$\text{ в) } |\Delta \vec{F}| = F_1 + F_2 = 525 \text{ мН; } \Delta F = F_1 - F_2 = 475 \text{ мН.}$$

$$10.1.18. \text{ а) Увеличится в } \frac{F_2}{F_1} = \frac{(n+1)^2}{4n} = 1,8 \text{ раза; б) уменьшится в } \frac{F_2}{F_1} = \frac{(n-1)^2}{4n} = 0,8 \text{ раза.}$$

$$10.1.20. \text{ а) } T_{\text{н}} = mg + \frac{k q_1 q_2}{R^2} = 29,6 \text{ мН;}$$

$$T_{\text{в}} = 2mg - \frac{k q_1 q_2}{R^2} = 29,2 \text{ мН;}$$

$$\text{ б) } T_{\text{н}} = mg - \frac{k q_1 q_2}{R^2} = 9,9 \text{ мН;}$$

$$T_{\text{в}} = 2mg + \frac{k q_1 q_2}{R^2} = 49,2 \text{ мН.}$$

$$10.1.21. l = \frac{|q|}{\sqrt{4\pi\epsilon_0 k \Delta x}} + \Delta x.$$

$$10.1.22. q_2 = \frac{16\pi\epsilon_0 L^2 (kL - mg)}{q_1}.$$

$$10.1.23. \text{ а) } F = mg \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = 5 \text{ мН;}$$

$$\text{ б) } q = 2l \sin \frac{\alpha}{2} \sqrt{\frac{mg}{k} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} = 3 \cdot 10^{-7} \text{ Кл.}$$

$$10.1.24. q_1 = \frac{mg R^2 \operatorname{tg} \alpha}{k q_2} = 28,2 \text{ мКл.}$$

$$10.1.26. R = q \sqrt{\frac{2k}{mg}} = 10,8 \text{ см.}$$

$$10.1.27. \text{ Уменьшится в } n = \sqrt{2 \cos \alpha} \approx 1,3 \text{ раза.}$$

$$10.1.28. T = \frac{k q_1 q_2}{l^2} = 4,5 \cdot 10^{-5} \text{ Н;}$$

$$F_{\text{min}} = \frac{k q_1 q_2}{l^2} \left(1 + \frac{m_1}{m_2} \right) = 7,5 \cdot 10^{-5} \text{ Н.}$$

$$10.1.29. m = \frac{k q_2}{R v^2} \approx 9 \text{ г.}$$

$$10.1.30. F_{\text{н}} = \frac{mg}{\cos \alpha} + \frac{k q_2}{l^2}; T = 2\pi l \sqrt{\frac{m l \cos \alpha}{m g l^2 + 2 k q^2 \cos \alpha}}.$$