

**5.11.** Oblicz siłę oddziaływania dwu ładunków elektrycznych o wartościach:  $Q_1 = 1 \cdot 10^{-3} \text{ C}$ ,  $Q_2 = -3 \cdot 10^{-3} \text{ C}$  z odległości  $r = 0,1 \text{ m}$ . Czy ładunki przyciągają się, czy odpychają?

**5.12.** Dwa jednakowe ładunki punktowe odpychają się (w próżni) siłą  $F = 250 \text{ N}$  z odległości  $r = 12 \text{ m}$ . Oblicz wartość ładunków.

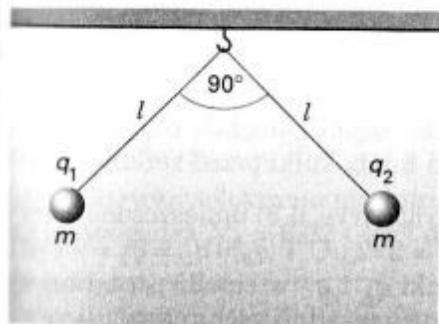
**5.13.** Dwie przewodzące kule, których rozmiary są porównywalne z odległością między nimi, zostały naładowane raz ładunkami jednakowego znaku, a raz przeciwnego znaku. W którym przypadku siły oddziaływania między kulami, pochodzącymi od ładunków elektrycznych były większe, jeżeli odległość między kulami nie ulegała zmianie?

**5.14.** Jak zmieni się siła oddziaływania między dwoma punktowymi ładunkami, jeżeli wartość każdego ładunku zwiększymy 3 razy, a odległość między nimi też zwiększymy trzykrotnie?

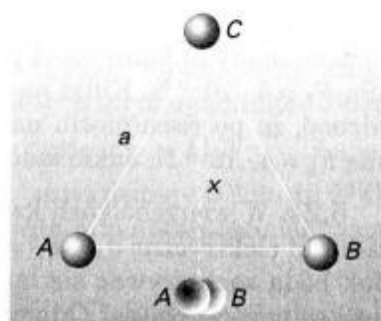
**5.15.** Jakimi (jednakowymi) ładunkami powinny być naładowane dwie kule o masach  $m_1 = 10^6 \text{ kg}$  i  $m_2 = 10^8 \text{ kg}$ , aby siła elektrostatycznego odpychania była równa sile grawitacyjnego przyciągania?

**5.16.** Dwie przewodzące, jednakowe kulki naładowane są ładunkami  $q_1 = 3 \cdot 10^{-7} \text{ C}$  i  $q_2 = 9 \cdot 10^{-7} \text{ C}$  i znajdują się w odległości  $r = 30 \text{ cm}$  od siebie. Kulki te na chwilę zetknięto ze sobą, a następnie ponownie rozsunęto na odległość  $r$ . Jaka siła odpychały się kulki przed i po zetknięciu?

※ **5.17.** Dwie kulki o jednakowych masach  $m = 0,8155 \text{ g}$  każda zawieszono na nitkach długości  $l = 30 \text{ cm}$  tak, aby kulki się stykały. Następnie wprowadzono na nie całkowity ładunek  $Q$  taki, że  $Q = Q_1 + Q_2 = 1 \mu\text{C}$ , wskutek czego nitki ustawiły się pod kątem prostym (rys. 5.1). Oblicz ładunek na każdej z kulek.



Rys. 5.1



Rys. 5.2

**5.18.** Trzy jednakowe ładunki punktowe umieszczono w wierzchołkach trójkąta równobocznego o boku  $a = 80 \text{ cm}$  (rys. 5.2). W jakiej odległości  $x$  należałoby umieścić dwa z tych ładunków razem, aby na trzeci działały one taką samą siłą jak poprzednio?

**5.19.** Dwie naładowane kulki odpychają się z pewnej odległości siłami elektrostatycznymi. Jeśli powiększyć ładunki obu kulek  $n = 9$ -krotnie i zanurzyć cały układ w bardzo czystej destylowanej wodzie, to siła odpychania nie ulegnie zmianie. Oblicz stałą dielektryczną wody.

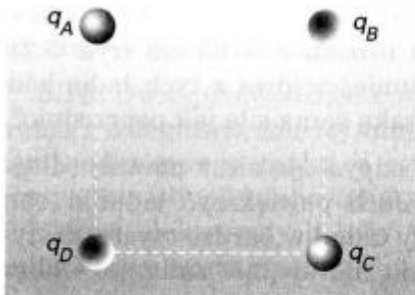
**5.20.** Dwa ciała, z których jedno ma ładunek cztery razy większy od drugiego, umieszczone są w próżni w odległości  $r = 0,40 \text{ m}$  i działają na siebie siłami  $F = 90 \text{ N}$ . Oblicz wartość tych ładunków. W jakiej odległości od siebie należy je umieścić w wodzie destylowanej o stałej dielektrycznej  $\epsilon_r = 81$ , by oddziaływały na siebie siłami czterokrotnie większymi?

**5.21.** Bardzo mała, przewodząca kulka o ładunku  $q = 2 \cdot 10^{-11} \text{ C}$  została zetknięta z taką samą kulką nie naładowaną. Jaki ładunek przemieścił się na drugą kulkę? Jaka będzie wartość siły elektrycznej działającej między kulkami, jeżeli zostaną one odsunięte od siebie na odległość 3 cm? Ładunek elektryczny elektronu  $e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ .

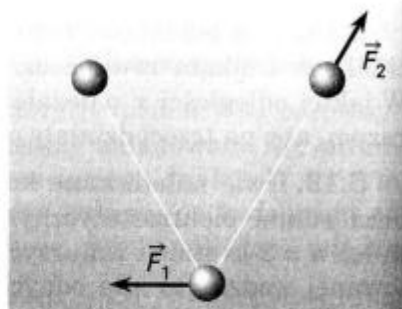
**\* 5.22.** Dwie jednakowe, przewodzące kulki naładowane ładunkami  $q_1 \neq q_2$  odpychają się z odległości  $r$  siłą  $F_1$ . Udowodnij, że po zetknięciu się kulek, a następnie rozsunięciu ich na tę samą odległość będą odpychały się siłą  $F_2 > F_1$ .

**5.23.** Dwie jednakowe, małe i przewodzące kulki naładowane różnoimiennymi ładunkami przyciągają się z odległości  $r = 30 \text{ cm}$  siłą  $F_1 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ N}$ . Kulki na chwilę zetknięto, a następnie stwierdzono, że po rozsunięciu na taką samą odległość odpychają się siłą  $F_2 = 4 \cdot 10^{-3} \text{ N}$ . Jakie ładunki miały kulki przed zetknięciem?

**5.24.** W wierzchołkach kwadratu (rys. 5.3) umieszczono cztery ładunki elektryczne  $q_A = q_C = q_1 = 2\sqrt{2} \mu\text{C}$  i  $q_B = q_D = q_2 = -1 \mu\text{C}$ . Jak będą zachowywać się ładunki  $q_A$  i  $q_C$  w chwili początkowej, jeśli są one swobodne? Odpowiedź uzasadnij rachunkowo.



Rys. 5.3



Rys. 5.4

**5.25.** Na rysunku 5.4 pokazano trzy ładunki elektryczne leżące w wierzchołkach trójkąta równobocznego i siły działające na dwa z nich. Narysuj siłę działającą na trzeci ładunek ze strony dwu pozostałych. Uzasadnij odpowiedź znanymi Ci prawami lub zasadami.

$$5.11. F = \frac{k|Q_1Q_2|}{r^2} = 2,7 \cdot 10^6 \text{ N}; \text{ przyciągają się.}$$

$$5.12. Q = r\sqrt{\frac{F}{k}} = 2 \text{ mC.}$$

$$5.14. \frac{F_2}{F_1} = 1.$$

$$5.15. Q = \sqrt{\frac{Gm_1m_2}{k}} = 861 \mu\text{C.}$$

$$5.16. F_1 = 27 \text{ mN}; F_2 = 36 \text{ mN.}$$

$$5.17. Q_{1,2} = 0,5 \left( Q \mp \sqrt{Q^2 - \frac{8mgl^2}{k}} \right);$$

$$Q_1 = 0,2 \mu\text{C}, \quad Q_2 = 0,8 \mu\text{C}.$$

**5.26.** Trzy jednakowe ładunki punktowe  $q = 8,66 \cdot 10^{-9} \text{ C}$  znajdują się w wierzchołkach trójkąta równobocznego. Jaki ładunek, o przeciwnym znaku, należy umieścić w środku trójkąta, aby układ był w równowadze?

**5.27.** Jaki ładunek powstałby na miedzianej kuli o promieniu  $R = 4 \text{ cm}$ , jeżeli udało się z każdego atomu tej kuli odebrać jeden elektron? Masa atomowa miedzi  $\mu = 64 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ , gęstość  $\rho = 8,9 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ . Ładunek elektryczny elektronu  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ , stała Avogadra  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ .

**5.28.** Oblicz wartość siły, jaką będą przyciągały się dwie jednakowe kulki ołowiane o promieniach  $r = 2 \text{ cm}$  każda, odległe od siebie o  $l = 8 \text{ m}$ , gdyby udało się z każdego atomu jednej kulki zabrać po jednym elektronie i przenieść je na drugą kulkę? Masa atomowa ołowiu  $\mu = 207 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ , a jego gęstość  $\rho = 11,3 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ . Ładunek elektryczny elektronu ma wartość bezwzględną  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ , stała Avogadra  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ , a przenikalność elektryczna próżni  $\epsilon_0 = 8,9 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}}{\text{N} \cdot \text{m}^2}$ .

**5.29.** Dwa punktowe ładunki  $q_1$  i  $q_2$  znajdują się w odległości  $r$  jeden od drugiego. Jeżeli odległość między nimi zmaleje o  $\Delta r = = 30 \text{ cm}$ , to siła wzajemnego działania między ładunkami wzrośnie czterokrotnie. Jaka była początkowa odległość  $r$  między ładunkami?

**5.30.** Dwa punktowe ładunki jednoimienne znajdują się w odległości  $r = 0,6 \text{ m}$  jeden od drugiego. Jeden z nich jest  $n = 4$  razy większy od drugiego. W którym miejscu na prostej łączącej ładunki, licząc od ładunku większego, należy umieścić trzeci ładunek punktowy, aby znajdował się on w równowadze?

**5.31.** Dodatni, punktowy ładunek  $Q$  znajduje się na jednej prostej z dwoma jednakowymi ładunkami ujemnymi o ładunku  $q$  każdy. Odległości między ładunkiem dodatnim a ujemnymi wynoszą odpowiednio  $r_1$  i  $r_2$  tak, że  $r_1 : r_2 = 5$ . Ile razy zmieni się siła działająca na ładunek dodatni, jeżeli zamienić go miejscami z bliższym ładunkiem ujemnym? Rozpatrz obydwie możliwości początkowego usytuowania ładunków.

$$5.18. x = a \sqrt{\frac{2}{\sqrt{3}}} = 1,075 a.$$

$$5.19. \epsilon_r = n^2 = 81.$$

$$5.20. r_x = \frac{r}{\sqrt{4\epsilon_r}} = 22 \text{ mm},$$

$$q_1 = 20 \mu\text{C}; \quad q_2 = 80 \mu\text{C}.$$

$$5.21. q_x = 10 \text{ pC}; \quad F = 1 \text{ nN}.$$

$$5.23. q_1 = -0,1 \mu\text{C}, \quad q_2 = 0,5 \mu\text{C}$$

$$\text{albo } q_1 = 0,1 \mu\text{C}, \quad q_2 = -0,5 \mu\text{C}.$$

5.24. Ładunki  $q_A$  i  $q_C$  będą w równowadze.

$$5.26. Q = \frac{q}{2 \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)} = -5 \text{ nC}.$$

$$5.27. Q = \frac{4\pi\rho R^3 e N_A}{3\mu} = 3,59 \text{ MC}.$$

$$5.28. F = 2,48 \cdot 10^{19} \text{ N}.$$

$$5.29. r = 60 \text{ cm}.$$

$$5.30. x = \frac{r\sqrt{n}}{\sqrt{n+1}} = 40 \text{ cm}.$$

$$5.31. \frac{F_2}{F_1} = 1,109 \quad \text{lub} \quad \frac{F_2}{F_1} = 0,901.$$