1 Muatan Listrik Dan Hukum Coulomb.

1-1. Muatan Listrik.

Benda bermuatan listrik ialah benda yang mempunyai kelebihan sejumlah **elektron** atau proton. Benda yang kelebihan sejumlah elektron akan **bermuatan negatip** dan yang kelebihan sejumlah proton dikatakan **bermuatan positip**. Sekelompok partikel bermuatan, misalnya atom-atom, atau elektron-elektron, selalu menempati suatu volume tertentu. Jika ukuran volume yang ditempati partikel-partikel bermuatan tersebut sedemikian kecilnya di bandingkan dengan jarak-jarak lain dalam persoalan yang dibicarakan, maka partikel bermuatan tersebut dikatakan **muatan titik**. Dalam literatur biasa digunakan huruf q atau Q untuk menyatakan jumlah kelebihan muatan positip atau negatip pada suatu benda.

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa setiap muatan Q besar atau kecil, positip atau negatip adalah merupakan **kelipatan** dari :

$$e = 1,602 \times 10^{-19} C$$

Di sini -e adalah muatan untuk satu elektron dan Coulomb (C) adalah satuan muatan listrik.

1-2. Hukum Coulomb

Gambar 1-1 menunjukkan dua muatan titik Q_1 dan Q_2 terpisah pada jarak r dengan Q_1 terletak di pusat salib sumbu XYZ. Hukum Coulomb menyatakan bahwa gaya elektrostatika pada muatan Q_2 akibat muatan Q_1 adalah :

$$\bar{F}_2 \frac{1}{4\pi E_0} \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \hat{r} = \frac{1}{4\pi E_0} \frac{Q_1 Q_2}{r^3} \bar{r} \qquad 1-1$$

dan besarnya :

$$F_2 = \frac{1}{4\pi E_0} \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \qquad 1-2$$

Disini $\bar{r} = r\hat{r} = x\hat{i} + y\hat{j} + z\hat{k}$ adalah vektor perpindahan dari Q_1 ke Q_2, sehingga gaya elektrostatika pada muatan Q_1 akibat muatan Q_2 adalah $\bar{F}_1 = -\bar{F}_2$

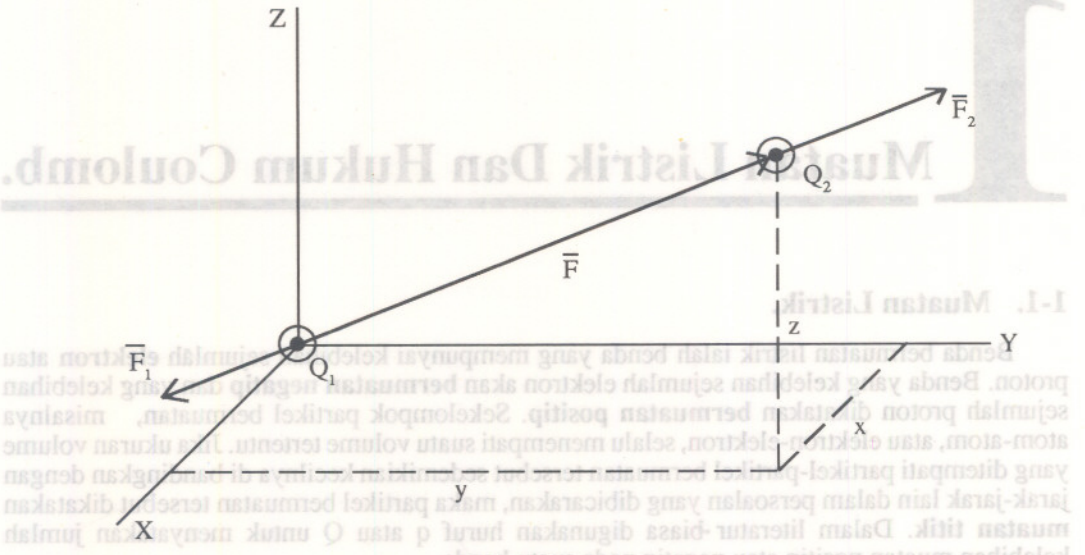
Dari percobaan di peroleh bahwa :

$$\frac{1}{4\pi E_0} = 8{,}98742 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$$

Dengan cara matematika konstanto E_0 yang disebut permitivitas ruang hampa didefinisikan sebagai

$$E_0 = 8,85432 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N.m}^2 = 8,85432 \times 10^{-12} \text{ F/m}$$

Jika Q_1 dan Q_2 berada dalam medium di elektrika isotropik misalnya minyak, maka E_0 dalam. (1-1) harus diganti dengan $E=KE_0$ dan K disini adalah konstanta dielektrika medium.



Gambar 1-1

Misalnya Q_1, Q_2, Q_3, ...Q_n pada posisi tetap dalam suatu susunan salib sumbu. Maka gaya pada muatan Q_1 akibat muatan-muatan lainnya adalah :

$$\bar{F}_1 = \bar{F}_{12} + \bar{F}_{13} + \ldots\ldots + \bar{F}_{1r}$$

disini $\bar{F}_{12}$ adalah gaya elektrostatika pada muatan Q_1 akibat muatan Q_2, dan seterusnya.

Contoh Penyelesaian Soal.

1-1. Berapa besar gaya elektrostatika pada elektron atom hidrogen yang di akibatkan oleh proton tunggal intinya, jika orbit elektron terhadap intinya Rata-Rata berjarak $0,53 \times 10^{10}$ m.

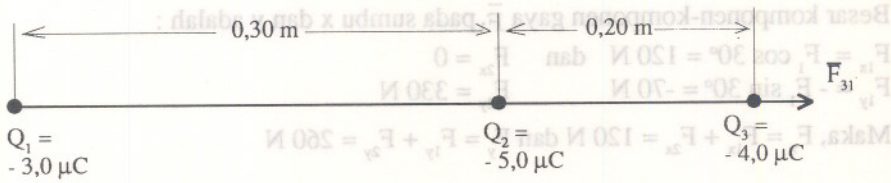
Jawab : Disini $Q_1 = -1,6 \times 10^{-19}$ C, $Q_2 = +1,6 \times 10^{-19}$ C dan $r = 0,53 \times 10^{-10}$ m

$$F = K \frac{Q_1 Q_2}{r^2} = \frac{(9 \times 10\ \text{N m}^2/\text{C}^2)(-1,6 \times 10^{-19}\ \text{C})(+1,6 \times 10^{-19}\ \text{c})}{(0,53 \times 10^{-10}\ \text{m})^2}$$

$$= -8,2 \times 10^{-8}\ \text{N}$$

Tanda minus di sini menyatakan gaya tarik-menarik.

1-2. Hitunglah gaya elektrostatika pada partikel ke tiga dalam Gambar 1-2 ($Q_3 = -4\ \mu$C) yang di akibatkan oleh dua partikel bermuatan lainnya.



Gambar 1-2 Diagram Contoh 1-2

Jawab : $F_3 = F_{31} + F_{32}$

$$F_{3i} = k \frac{Q_3 Q_1}{r_{3i}} = \frac{(9 \times 10^9\ \text{N m}^2/\text{C}^2)(-4,0 \times 10^{-6}\ \text{C})(-3,0 \times 10^{-6}\ \text{C})}{(0,50)^2} = 0,43\ \text{N}$$

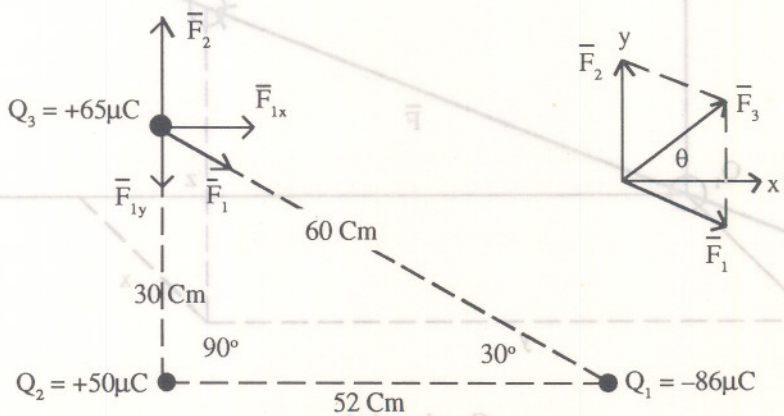
$$F_{3z} = k \frac{Q_3 Q_2}{r_{3z}} = \frac{(9 \times 10^9\ \text{N m}^2/\text{C}^2)(-4,0 \times 10^{-6}\ \text{C})(+5,0 \times 10^{-6}\ \text{C})}{(0,20\ \text{m})^2} = -4,5\ \text{N}$$

Gaya elektrostatika $\bar{F}_{3i}$ merupakan gaya tolak dan $\bar{F}_{3z}$ gaya tarik maka :

$F_3 = F_{31} + F_{32} = 0,43\ \text{N} - 4,5\ \text{N} = -4,07\ \text{N}$

1-3. Hitunglah besar dan arah gaya pada muatan Q_3 seperti ditunjukkan dalam Gambar 1-3, akibat muatan Q_1 dan Q_2.

Jawab :



Gambar 1-3. Penentuan gaya-gaya untuk Contoh 1-3

Jawab :

Gaya $\bar{F}_i$ adalah gaya tarik dan $\bar{F}_z$ gaya tolak

Besar gaya $\bar{F}_i$ dan $\bar{F}_z$ masing-masing adalah :

$$F_1 = \frac{(9{,}0 \times 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2)(6{,}5 \times 10^{-5} \text{ C})(8{,}6 \times 10^{-5} \text{ C})}{(0{,}60 \text{ m})^2} = 140 \text{ N}$$

$$F_2 = \frac{(9{,}0 \times 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2)(6{,}5 \times 10^{-5} \text{ C})(5{,}0 \times 10^{-5} \text{ C})}{(0{,}30 \text{ m})^2} = 330 \text{ N}$$

Besar komponen-komponen gaya $\bar{F}_1$ pada sumbu x dan y adalah :

$F_{1x} = F_1 \cos 30^\circ = 120$ N dan $F_{2x} = 0$

$F_{1y} = -F_1 \sin 30^\circ = -70$ N $F_{2y} = 330$ N

Maka, $F_x = F_{1x} + F_{2x} = 120$ N dan $F_y = F_{1y} + F_{2y} = 260$ N

Dengan demikian besar dan arah gaya $\bar{F}_3$ adalah :

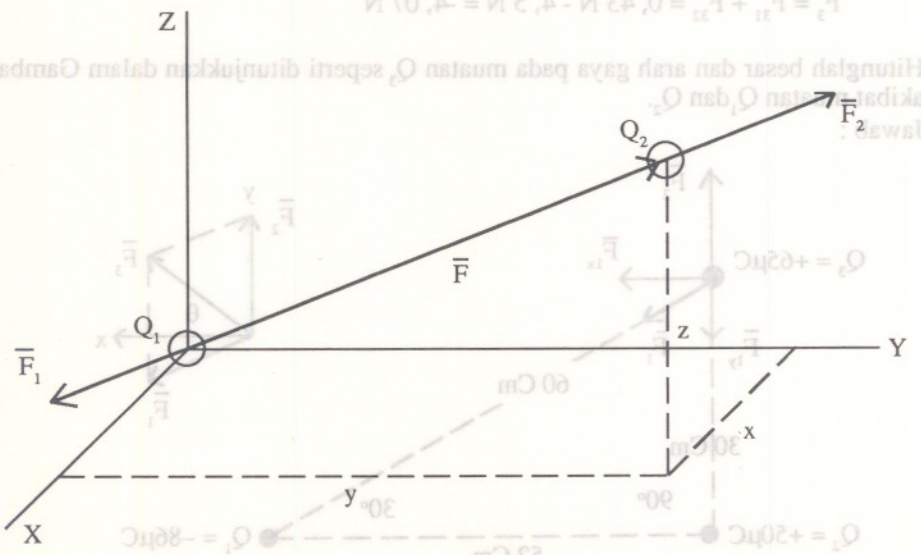
$$F_3 = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{(120 \text{ N})^2 + (260 \text{ N})^2} = 290 \text{ N}$$

$\text{tg } \theta = F_y/F_x = 260 \text{ N}/120 \text{ N} = 2, 2$ atau $\theta = 65^\circ$

1-4. Dalam Gambar 1-4, $Q_1 = 200\ \mu$ $Q_2 = 30\ \mu$ C, x = 20 cm y = 25 cm, Z = 30 cm. Tentukan besar dan arah gaya $\bar{F}_2$,

(a). dalam ruang bebas

(b). dalam medium yang mempunyai konstanta di elektrik 2, 5.



Gambar 1-4

Jawab :

(a) $r = (x^2 + y^2 + Z^2)^{1/2} = (20^2 + 25^2 + 30^2)^{1/2}$

$= 43,875 \text{ cm} = 0,43875 \text{ m}.$

dan besar gaya $\bar{F}_2$ adalah :

$$F_1 = \frac{(9,0 \times 10^{9})(200 \times 10^{-6})(30 \times 10^{-6})}{(0,43875)^2} = 280,52 \text{ N}$$

arah $\bar{F}_2$ terhadap sumbu x, y, z positip adalah :

$$\text{Cos}\alpha = \frac{x}{r} = \frac{20}{43,875} = 0,4558$$

$$\text{Cos}\beta = \frac{y}{r} = \frac{25}{43,875} = 0,5698$$

$$\text{Cos}\varphi = \frac{z}{r} = \frac{30}{43,875} = 0,6838$$

(b) $$F_2 = \frac{1}{4\pi E}\frac{Q_1 Q_2}{r^2} = \frac{1}{4\pi E_r E_0}\frac{Q_1 Q_2}{r^2} = \frac{280,52}{2,5} = 112,21 \text{ N}$$

arah $\bar{F}_2$ dalam medium sama dengan dalam (a)

1-6. Dalam Gambar 1-4, Q_1 adalah partikel α (muatan 2 e), Q_2 elektron, dan $r = 1 \text{ Å} = 10^{-10}$ m. Jika partikel-partikel ini dari keadaan diam, hitunglah percepatan awal masing-masing partikel.

Jawab : Gaya pada elektron adalah :

$$F_2 = k\frac{Q_1 Q_2}{r^2}\hat{r} = \frac{(9,0 \times 10^{9})(3,2 \times 10^{-19})(-1,6 \times 10^{-19})}{(10^{-10})^2}\hat{r}$$

$$= -4,61 \times 10^{-8}\,\hat{r} \text{ N}$$

disini $\hat{r} = \frac{\bar{r}}{r} = \frac{20\hat{i} + 25\hat{j} + 30\hat{k}}{43,875}$ dan $m_e = 9,11 \times 10^{-31}$ kg

Dengan menggunakan hukum Newton ke dua di peroleh percepatan elektron :

$$\bar{a}_2 = \frac{F_2}{m_e} = \frac{-4,61 \times 10^{-8}\,\hat{r}}{9,11 \times 10^{-31}} = -5,06 \times 10^{22}\,\hat{r} \text{ m/s}^2$$

Gaya pada partikel α adalah $\bar{F}_2$ dan massanya $6,65 \times 10^{-27}$ kg sehingga percepatannya

$$\bar{a}_1 = \frac{+4,61 \times 10^{-8}\,\hat{r}}{6,65 \times 10^{-31}} = 6,93 \times 10^{22}\,\hat{r} \text{ m/s}^2$$

1-7. Suatu muatan titik $-Q_1$ ditempatkan dipusat sumbu x-y. Muatan $+Q_2$ terdistribusi secara merata pada seluruh permukaan bola dan mempunyai massa m berputar dengan kecepatan

sudut w dalam orbit lingkaran berjari-jari r terhadap pusat sumbu. Dengan mengabaikan gaya grafitasi, hitunglah Jari-jari orbit lingkaran r.

Jawab : Gaya tarik elektrostatika pada Q_2 :

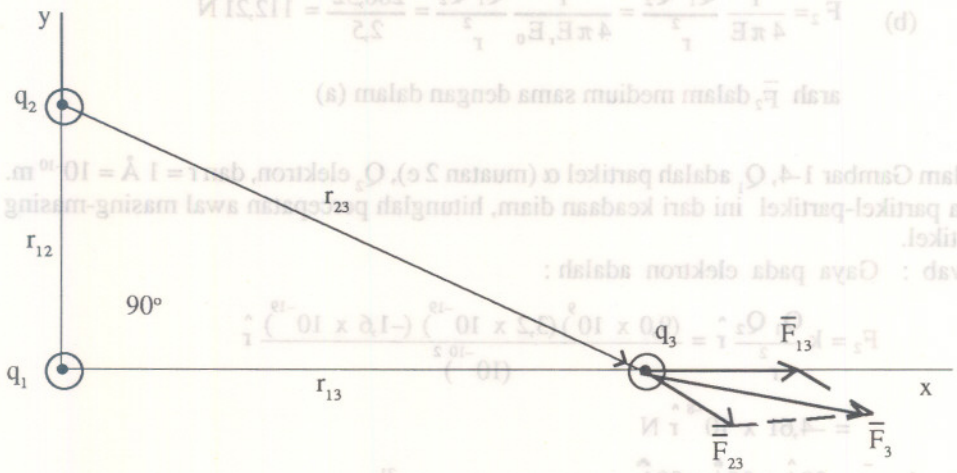
$$F = \frac{1}{4\pi E_o}\left(\frac{Q_1\ Q_2}{r^2}\right)$$

mengarah ke pusat dan merupakan gaya setripetal maka

$$F = \frac{1}{4\pi E_o}\left(\frac{Q_1\ Q_2}{r^2}\right) = m r w^2$$

dan $$r = \left(\frac{Q_1\ Q_2}{4\pi E_o m w^2}\right)^{1/3}$$

1-8. Dalam Gambar 1-5, $q_1 = 300$ m C, $q_2 = 400$ m C, $q_3 = 500$ m C, $r_{12} = 9$ m, $r_{13} = 12$ m. Hitung lah besar dan arah gaya $\bar{F}_3$ pada muatan q_3.



Gambar 1-5

Gaya pada q_3 akibat q_1 dan q_2 masing-masing $\bar{F}_{13}$ dan $\bar{F}_{23}$.

Vektor jarak $\bar{r}_{13} = 9\,\hat{i}$ dan $\bar{r}_{23} = 12\,\hat{i} - 9\,\hat{j}$ m

maka :

$$\bar{F}_{13} = k\frac{q_1 q_3}{r_{13}^2}\hat{r}_{13} = \frac{(9{,}0 \times 10^9)(300)(500)(10^{-12})}{(12)^2}\hat{i} = 9{,}375\,\hat{i}\ \text{N}$$

$$\bar{F}_{23} = k\frac{q_2 q_3}{r_{23}^2}\hat{r}_{23} = \frac{(9{,}0 \times 10^9)(300)(500)(10^{-12})}{(12^2 + 9)^{3/2}}\hat{i} = 9{,}375\,\hat{i}\ \text{N}$$

$$= 6{,}4\,\hat{i} - 4{,}8\,\hat{j}\ \text{N}$$

dan

$$\bar{F}_3 = \bar{F}_{13} + \bar{F}_{23} = 9{,}375\,\hat{i} + 6{,}42\,\hat{i} - 4{,}8\,\hat{j} = 15{,}775\,\hat{i} - 4{,}8\,\hat{j}\ \text{N}$$

Besar gaya $\bar{F}_3$ adalah :

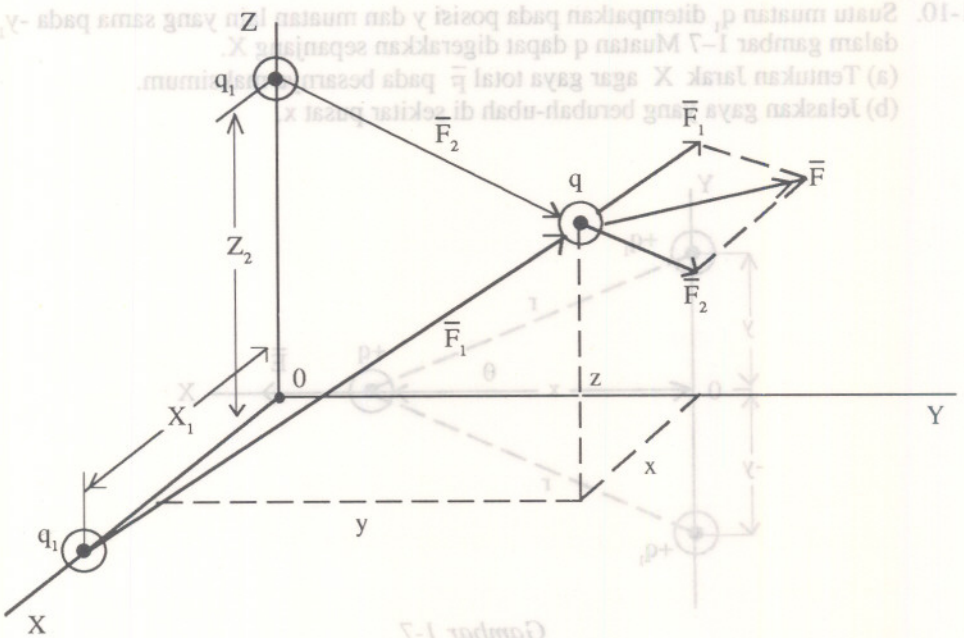
$$\bar{F}_3 = \left[(15{,}775)^2 + (4{,}8)^2\right]^{1/2} = 16{,}49\ \text{N}$$

Arah gaya $\bar{F}_3$ terhadap sumbu x dan y positif :

$$\text{Cos}\ \alpha = \frac{15{,}775}{16{,}49} = 0{,}9567$$

$$\text{Cos}\ \beta = \frac{-4{,}8}{16{,}49} = 0{,}2911$$

1-9. Dalam Gambar 1-6, q_1 di tempatkan pada sumbu x pada jarak x_1 dari pusat, q_2 pada jarak z_2 dalam sumbu z dan q pada titik P (x,y z) dalam ruang. Jika $q_1 = 40\ \mu$ C, $q_2 = 50\ \mu$ C, q $= 8\ \mu$ C, $x_1 = 0,80$ m, $Z_2 = 0,75$ m, x = 0, 40 m, y = 0,50 dan Z = 0, 60 m, hitunglah gaya total $\bar{F}$ pada muatan q.



Gambar 1-6

Jawab : $\bar{r} = (x - x_1)\,\hat{i} + (y - 0)\,\hat{j} + (z - 0)\,\hat{k} = -0{,}40\,\hat{i} + 0{,}50\,\hat{j} + 0{,}60\,\hat{k}$

dan $r = \left[(0{,}40)^2 + (0{,}50)^2 + (0{,}60)^2\right]^{1/2} = 0{,}8775$ m

$$\bar{F}_1 = k\frac{q_2\, q}{r_1^2}\hat{r}_1 = \frac{(9{,}0 \times 10^{9})(40)(8)(10^{-12})}{(0{,}8775)^3}(-0{,}40\,\hat{i} + 0{,}50\,\hat{j} + 0{,}60\,\hat{k})$$

$$= -1{,}7047\,\hat{i} + 2{,}13\,\hat{j} + 2{,}5574\,\hat{k}\ (N)$$

Dengan cara yang sama :

$$\bar{r}_2 = 0{,}40\,\hat{i} + 0{,}50\,\hat{j} - 0{,}15\,\hat{k} \qquad \bar{r}_2 = 0{,}6576\ m$$

Sehingga :

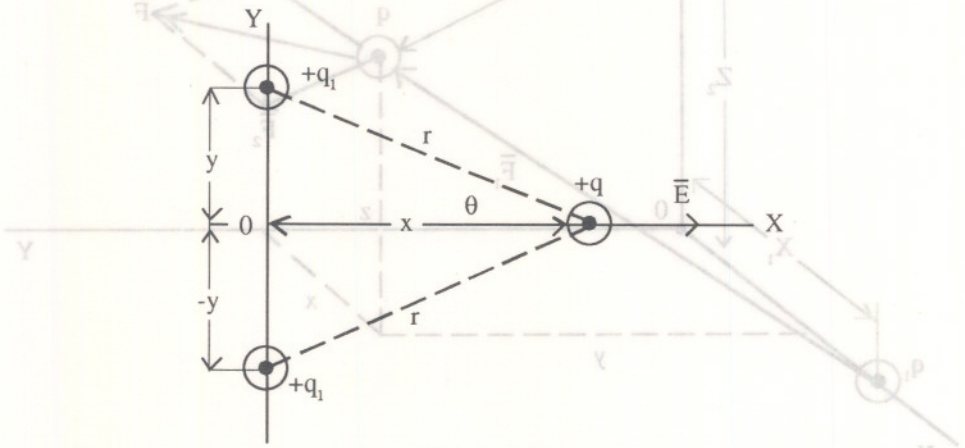
$$\bar{F}_2 = k\frac{q_2\, q}{r_2^2}\hat{r}_2 = \frac{(9{,}0 \times 10^{9})(50)(8)(10^{-12})}{(0{,}6576)^3}(-0{,}40\,\hat{i} + 0{,}50\,\hat{j} + 0{,}15\,\hat{k})$$

$$= 5{,}063\,\hat{i} + 6{,}3284\,\hat{j} - 1{,}8985\,\hat{k}$$

dan gaya total F :

$$\bar{F} = \bar{F}_1 + \bar{F}_2 = 3{,}358\,\hat{i} + 8{,}459\,\hat{j} + 0{,}659\,\hat{k}\ (N)$$

1-10. Suatu muatan q_1 ditempatkan pada posisi y dan muatan lain yang sama pada $-y_1$, seperti dalam gambar 1–7 Muatan q dapat digerakkan sepanjang X.
(a) Tentukan Jarak X agar gaya total $\bar{F}$ pada besarnya maksimum.
(b) Jelaskan gaya yang berubah-ubah di sekitar pusat x.



Gambar 1-7

(a) Karena Simetri, gaya $\bar{F}$ arahnya sepanjang sumbu X, dan besarnya :

$$F = 2k\frac{q_1\, q}{r^2}\cos\theta = 2k\, q_1\, q\frac{X}{(x^2 + y^2)^{3/2}}$$

Disini F = F(x), maka supaya harganya maksimum,

$$F = \frac{dF}{dX} = \frac{d}{dx}\left(2 k q_1 q \frac{X}{(x^2 + y^2)^{3/2}}\right) = 0$$

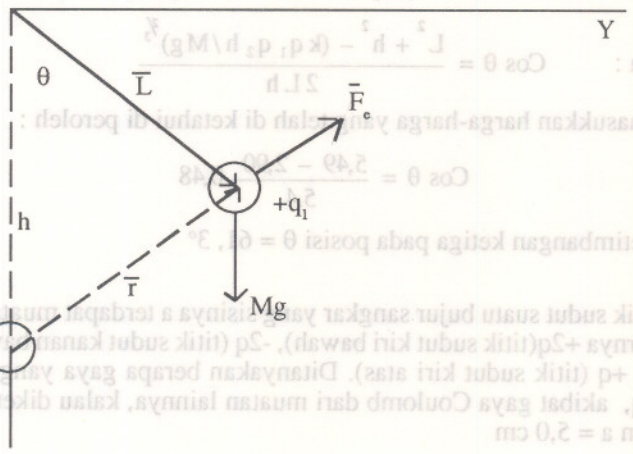
atau $(x^2 + y^2)^{3/2} - 3x^2 (x^2 + y^2)^{1/2} = 0$

diperoleh : $x = \pm \frac{y}{\sqrt{2}}$

Dua titik ini semuanya menunjukkan maksimum bukan minimum.

(b) Untuk x = 0, f = 0, di sini berarti bahwa q dalam keadaan setimbang di pusat sumbu O. Bagaimanapun juga, keadaan kesetimbangan ini tidak stabil, karena untuk $x \neq 0$, gaya $\bar{F}$ diarahkan menjauh dari pusat dan muatan yang dapat bergerak akibat dari distribusi muatan yang tetap, tidak pernah dalam keadaan setimbang yang stabil.

1-11. Suatu bola yang massanya M, membawa muatan + q_1, digantung dengan tali bukan konduktor yang panjangnya L, sehingga membentuk sebuah bandul. Sebuah bola lain bermuatan + q_2, ditempatkan pada sumbu x pada Jarak h > L vertikal di bawah pusat sumbu O (Gambar 1-8). Jika besarnya $q_1 = 60\,\mu C$, $q_2 = 40\,\mu C$, L = 1, 5 m, h = 1,8 m, M = 0,8 kg dan $q = 9{,}8\ m/s^2$ hitunglah harga θ pada posisi bandul dapat tetap dalam keadaan diam.



Gambar 1-8

Jawab : Vektor dari pusat ke + q_1 :

$$\bar{L} = (L \cos\theta)\,\hat{i} + (L \sin\theta)\,\hat{j}$$

dan dari q_2 ke + q_1 :

$$\bar{r} = \bar{L} - h\,i = (L \cos\theta)\,\hat{i} + (L \sin\theta)\,\hat{j}$$

Gaya total pada muatan + q_1 :

$$\bar{F} = \bar{F}_e + M\bar{g} = k\frac{q_1 q_2}{r^3}\bar{r} + Mg\hat{i}$$

$$= \frac{k\, q_1\, q_2\left[(L\cos\theta - h)\hat{i} + (L\sin\theta)\hat{j}\right]}{\left[(L\cos\theta - h)^2 + (L\sin\theta)^2\right]^{3/2}} + Mg\hat{i}$$

$$= \left[\frac{k\, q_1\, q_2\,(L\cos\theta - h)}{(L^2 + h^2 - 2Lh\cos\theta)^{3/2}} + Mg\right]\hat{i} + \left[\frac{k\, q_1\, q_2\, L\sin\theta - h}{(L^2 + h^2 - 2Lh\cos\theta)^{3/2}} + Mg\right]\hat{j}$$

Momen Resultan pada bandul terhadap titik pusat O :

$$\bar{M}_0 = \bar{L} \times \bar{F} = (L_x F_y - L_y F_x)\hat{k}$$

Dalam keadaan setimbang besar momen Resultan nol.

$$\bar{M}_0 = L_x F_y - L_y F_x = \frac{k\, q_1\, q_2\, Lh\, \sin\theta}{(L^2 + h^2 - 2Lh\cos\theta)^{3/2}} - MgL\sin\theta = 0$$

Solusi pertama : sin $\theta = 0$, artinya posisi kesetimbangan pada $q = 0^o$ atau pada $q = 180^o$

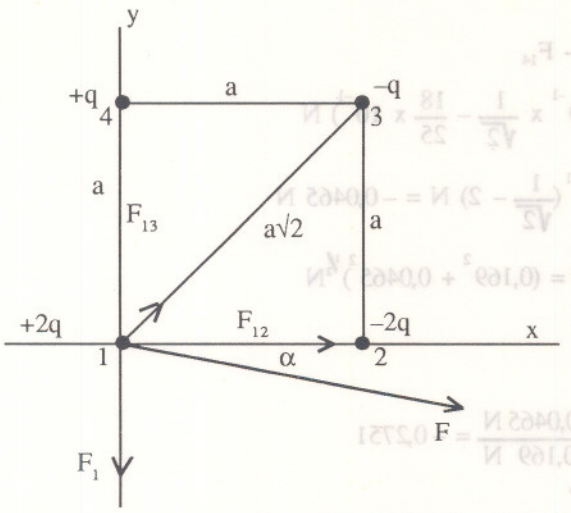
Solusi kedua : $\cos\theta = \dfrac{L^2 + h^2 - (k\, q_1\, q_2\, h/Mg)^{2/3}}{2Lh}$

dengan memasukkan harga-harga yang telah di ketahui di peroleh :

$$\cos\theta = \frac{5{,}49 - 2{,}90}{5{,}4} \; 0{,}48$$

Artinya kesetimbangan ketiga pada posisi $\theta = 61, 3^o$

1-12. Pada titik-titik sudut suatu bujur sangkar yang sisinya a terdapat muatan-muatan masing-masing besarnya +2q(titik sudut kiri bawah), -2q (titik sudut kanan bawah) - q (titik sudut kanan atas), +q (titik sudut kiri atas). Ditanyakan berapa gaya yang akan dialami oleh muatan + 2q, akibat gaya Coulomb dari muatan lainnya, kalau diketahui $q = 1{,}0 \times 10^{-7}$ Coulomb dan a = 5,0 cm



Gambar 1-9

Jawab : a = 5,0 cm = 5×10^{-2} m

$$F_{12} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{4q^2}{a^2}$$

$$= 9 \times 10^9 . 4 \frac{(1{,}0 \times 10^{-7})^2}{25 \times 10^{-4}} N$$

$$F_{12} = \frac{36}{25} \times 10^{-1} N$$

$$F_{13} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{2q^2}{2a^2} = 9 \times 10^9 \frac{(1{,}0 \times 10^{-7})^2}{25 \times 10^{-4}} N$$

$$F_{13} = \frac{9}{25} \times 10^{-1} N$$

$$F_{14} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{2q^2}{a^2} = 9 \times 10^9 \frac{2(1{,}0 \times 10^{-7})^2}{25 \times 10^{-4}} N$$

$$F_{14} = \frac{18}{25} \times 10^{-1} N$$

Sedangkan arah dari ketiga gaya pasangan telah ditunjukkan dalam gambar :

$$F_x = F_{12} + F_{13}\cos\theta = \left(\frac{36}{25} \times 10^{-1} + \frac{9}{25} \times 10^{-1}\frac{1}{\sqrt{2}}\right) N$$

$$F_x = \frac{9}{25} \times 10^{-1} \left(4 + \frac{1}{\sqrt{2}}\right) N = 0{,}169 \text{ N}$$

$F_y = F_{13} \sin q - F_{14}$

$= (\frac{9}{25} \times 10^{-1} \times \frac{1}{\sqrt{2}} - \frac{18}{25} \times 10^{-1})$ N

$F_y = \frac{9}{25} \times 10^{-1} (\frac{1}{\sqrt{2}} - 2)$ N $= -0{,}0465$ N

$F = (F_x^2 + F_y^2)^{1/2} = (0{,}169^2 + 0{,}0465^2)^{1/2}$ N

$= (0{,}0307)^{1/2}$

$F = 0{,}175$ N

$tg\ \alpha = \frac{F_y}{F_x} = -\frac{0{,}0465\ N}{0{,}169\ N} = -0{,}2751$

$\alpha = -15{,}4°$

Tanda – berarti α dikwadran ke-empat.

1-13. Dua partikel yang bermuatan sama terpisah sejauh $3{,}2 \times 10^{-3}$ m satu sama lain, keduanya dilepas dari keadaan diam. Percepatan yang dialami oleh partikel pertama dan kedua masing-masing adalah 7,0 m/det² dan 9,0 m/det². Bila massa dari partikel pertama adalah $6{,}3 \times 10^{-7}$ kg, maka ditanyakan :

(a). Berapakah massa dari partikel yang kedua ?

(b). Berapa muatan dari masing-masing partikel itu ?

Jawab :

(a). $F_{12} = m_1 a_1$

$F_{21} = m_2 a_2$

$F_{12} = F_{21}$

$m_1 a_1 = m_2 a_2$

$6{,}3 \times 10^{-7}$ kg. 7,0 m/det² $= m_2$. 9,0 m/det²

$m_2 = \frac{7}{9} \times 6{,}3 \times 10^{-7}$ kg $= 4{,}9 \times 10^{-7}$ kg.

(b). $F_{12} = \frac{1}{4 \pi \varepsilon_0} \frac{q^2}{r^2} = 6{,}3 \times 10^{-7} \times 7$ N.

$9 \times 10^9 \frac{q^2}{(3{,}2 \times 10^{-3})^2} = 44{,}1 \times 10^{-7}$

$q^2 \frac{10{,}24 \times 10^{-6}}{9 \times 10^9} = 44{,}1 \times 10^{-7}\ C^2$

$q^2 = 60{,}176 \times 10^{-22}\ C^2$

$q = 7{,}08 \times 10^{-11}$ C

1-14. Berdasarkan model dari Bohr maka atom hydrogen itu terdiri dari elektron yang massanya $9{,}11 \times 10^{-31}$ kg mengelilingi sebuah proton dalam orbit lingkaran dengan jari-jari $5{,}29 \times 10^{11}$ m. Proton bermuatan positif yang besarnya sama dengan muatan elektron $e = 1{,}6 \times 10^{-19}$ Coloumb, massa proton $1{,}67 \times 10^{-27}$ kg. Ditanyakan :

a). Berapa percepatan radial dari elektron tersebut ?

b). Berapa kecepatan sudutnya ?

Jawab :

a) $$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{r^2} = ma$$

$$9 \times 10^{9}\ \frac{(1{,}6 \times 10^{-19\ 2})}{(5{,}29 \times 10^{-11\ 2})} = 9{,}11 \times 10^{-31}\ .a$$

$$a = \frac{8{,}23 \times 10^{-8}}{9{,}11 \times 10^{-31}}\ \frac{m}{det^2} = 9{,}03 \times 10^{22}\ \frac{m}{det^2}$$

b). $a = w^2 r$

$$w = \left(\frac{a}{r}\right)^{1/2} = \left(\frac{9{,}03 \times 10^{22}}{5{,}29 \times 10^{-11}}\right)^{1/2} \frac{\text{putaran}}{\text{detik}}$$

$$w = 4{,}13 \times 10^{16}\ \frac{\text{putaran}}{\text{detik}}$$

1-15. Pada percobaan hamburan Rutherford ditembakkan partikel α (yaitu inti $^4_2$ He) pada inti atom emas $^{197}_{79}$Au, disini berlakulah gaya Coulomb tolak menolak dari dua inti pada jarak pemisah 10^{-12}cm.

Ditanyakan :

a) Berapa besar dari gaya tolak menolak itu ?

b) Tentukan percepatan dari partikel a yang disebabkan gaya tersebut.

Jawab :

a). Inti dari atom helium terdiri dua netron dan dua proton, sedangkan inti atom emas terdiri dari 118 netron dan 79 proton.

Muatan dari sebuah proton = $1{,}6 \times 10^{-19}$ Coulomb.

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$$= 9 \times 10^{9}.\frac{(2 \times 1{,}6\ 10^{-19})(79 \times 1{,}6 \times 10^{-19})}{(10^{-14\ 2})}\ N$$

$$F = 364\ N.$$

b). massa proton = massa netron = $1{,}67 \times 10^{-27}$ kg.

$$F = m\,a$$

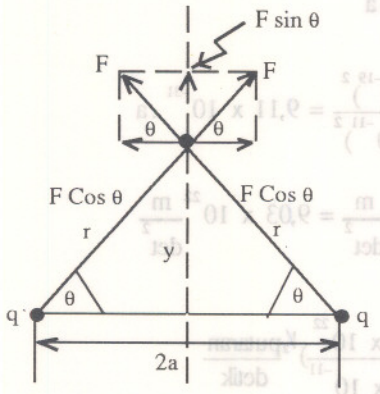
$$a = \frac{F}{m} = \frac{364}{4 \times 1{,}67 \times 10^{-27}}\ \frac{m}{det^2}$$

$$a = 5{,}45 \times 10^{28}\ m/det^2.$$

1-16. Dua muatan titik yang positif dan sama besarnya terpisah satu sama lain sejauh 2a. Melelui titik tengah Tempat kedudukan titik-plating di buat sebuah bidang datar yang tegak lurus garis penghubung itu. Tempat kedudukan titik-titik dimana gaya maksimum yang bekerja pada suatu

Jawab :

Misalkan besar dari kedua muatan itu besarnya masing-masing adalah q, sedangkan pada binatang tadi adalah q'.



Gambar 1–10

$$F_C = \frac{1}{4\pi r_o}\frac{q\,q'}{r^{-2}}$$

$$r^2 = y^2 + a^2$$

Dari kebesaran terlihat bahwa komponen gaya yang horizontal saling meniadakan, jadi yang ada hanya komponen gaya yang vertikal saja.

jadi $F = 2.\,\text{Sin}\,\theta$

sin b $= y/r = y/(y^2 + a^2)^{1/2}$

$$F = 2\,\frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\,\frac{q\,q'}{y^2 + a^2}\cdot\frac{y}{(y^2 + a^2)^{1/2}}$$

$$F = \frac{q\,q'}{4\pi\varepsilon_o}\cdot\frac{y}{(y^2 + a^2)^{3/2}}$$

Gaya F yang maksimum bila $\frac{dF}{dy} = 0$

$$\frac{dF}{dy} = \frac{q\,q'}{2\pi\varepsilon_o}\,\frac{(y^2 + a^2)^{3/2} - 3/2\,(y^2 + a^2)^{1/2}\,2y^2}{(y^2 + a^2)^3} = 0$$

berarti

$$(y^2 + a^2)^{3/2} - 3(y^2 + a^2)^{1/2}\,2y^2 = 0$$

$$y^2 + a^2 - 3y^2 = 0$$

$$2y^2 = a^2$$

$$y = \frac{1}{2}\,a\,\sqrt{2}$$

1-17. Muatan inti helium ialah $+2e$ dan muatan inti $+10e$, dimana e adalah muatan dasar $1{,}60 \times 10^{-19}$ C. Hitung gaya tolak antara kedua inti itu seandainya jarak pisahnya 3 nanometer ($1\text{nm} = 10^{-9}$ m). Kedua inti itu berada dalam vakum.

Jawab :
Jari-jari inti adalah di sekitar 10^{-15} m, karena itu inti boleh dianggap sebagai muatan titik, maka :

$$F = k\frac{q\,q'}{r^2} = (9 \times 10^9\ \text{N.m}^2/\text{C}^2)\ \frac{(2)\ (10)\ (1{,}6 \times 10^{-19}\ \text{C})^2}{(3 \times 10^{-9}\ \text{m})^2} = 5{,}1 \times 10^{-10}\ \text{N}.$$

1-18. Menurut model atom Bohr tentang atom hidrogen, elektron ($q = -e$) mengelilingi proton $9q' = +e$) dengan jari-jari $5{,}3 \times 10^{-11}$m. Gaya tarik antara proton dan elektron inilah yang merupakan gaya sentripetal pada elektron, hingga elektron dapat tetap ber-orbit. Tentukan (a) gaya tarik-menarik antara kedua partikel itu, dan (b) tentukan laju elektron. Massa elektron ialah $9{,}1 \times 10^{-31}$ kg.

Jawab :

(a) $$F = k\frac{q\,q'}{r^2} = (9 \times 10^9\ \text{N.m}^2/\text{C}^2)\ \frac{(1{,}6 \times 10^{-19}\ \text{C})^2}{(5{,}3 \times 10^{-9}\ \text{m})^2} = 8{,}2 \times 10^{-8}\ \text{N}.$$

b) Gaya di atas ini ialah sentripetal yang dialami elektson. Maka

$$8{,}2 \times 10^{-8}\ \text{N} = \frac{mv^2}{r}$$

atau

$$v = \sqrt{\frac{(8{,}2 \times 10^{-8}\ \text{N})\,(r)}{m}} = \sqrt{\frac{(8{,}2 \times 10^{-8}\ \text{N})\,(5{,}3 \times 10^{-11}\ \text{m})}{9{,}1 \times 10^{-31}\ \text{kg}}} = 2{,}2 \times 10^6\ \text{m/s}$$

1-19. Tentukan perbandingan gaya Coulomb F_e dan gaya gravitasi F_g antara dua buah elektron.

Jawab :
Hukum Coulomb : $F_e = k\frac{q^2}{r^2}$ dan Hukum gravitasi : $F_g = G\frac{m^2}{r^2}$

Maka $$\frac{F_e}{F_g} = \frac{kq^2/r^2}{Gm^2/r^2} = \frac{kq^2}{Gm^2}$$

$$= \frac{(9 \times 10^9\ \text{N.m}^2/\text{C}^2)\ (1{,}6 \times 10^{-19}\ \text{C})^2}{(6{,}67 \times 10^{-11}\ \text{N.m}^2/\text{kg}^2)\,(9{,}1 \times 10^{-31}\ \text{kg})^2} = 4{,}2 \times 10^{42}$$

Nyata bahwa gaya Coulomb (= gaya listrik) adalah jauh lebih besar daripada gaya gravitasi.

1-20. Gambar 1-11 menunjukkan dua bola identik (m= 0, 10g) bermuatan sama menggantung di ujung tali yang sama panjangnya. Pada posisi yang tampak pada gambar, kedua bola ternyata seimbang. Berapakah muatan bola ?

Jawab :

Perhatikan bola kiri. Bola ini seimbang, meskipun padanya bekerja tiga gaya berikut : (1) tegangan T dalam tali; (2) gaya gravitasi,

$$mg = (1 \times 10^{-4}\ \text{kg})(9{,}8\ \text{m/s}^2) = 9{,}8 \times 10^{-4}\ \text{N}$$

dan (3) gaya Coulomb F yang berupa gaya tolak.

Dari $\sum F_x = 0$ dan $\sum F_y = 0$ untuk bola kiri, diperoleh $T \cos 60° - F = 0$

$T \sin 60° - mg = 0$

Dari persamaan kedua ini diperoleh

$$T = \frac{mg}{\sin 60°} = \frac{9{,}8 \times 10^{-4}\ \text{N}}{0{,}866} = 1{,}13 \times 10^{-3}\ \text{N}$$

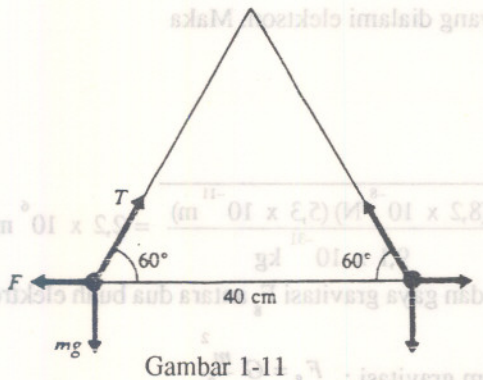
Isikan dalam persamaan pertama :

$$F = T \cos 60° = (1{,}13 \times 10^{-3}\ \text{N})(0{,}50) = 5{,}7 \times 10^{-4}\ \text{N}$$

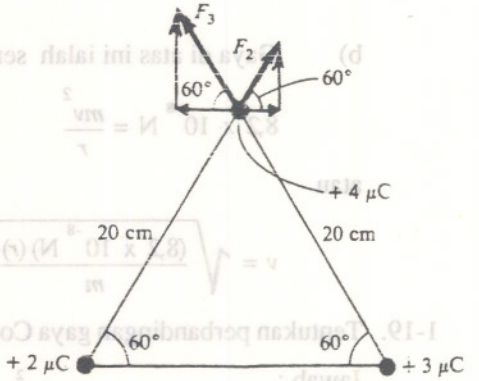
Ini adalah gaya Coulomb kqq'/r^2. Maka

$$qq' = q^2 = \frac{Fr^2}{k} = \frac{(5{,}7 \times 10^{-4}\ \text{N})(0{,}4\ \text{m})^2}{9 \times 10^9\ \text{N.m}^2/\text{C}^2}$$

jadi $q = 0.1\ \mu\text{C}$.



Gambar 1-11



Gambar 1-12

1-21. Perhatikan muatan-muatan pada Gambar 1-12. Tentukan gaya pada muatan 4 μ C oleh kedua muatan yang lain.

Jawab : Dari hukum Coulomb diperoleh :

$$F_2 = k\frac{qq'}{r^2} = (9 \times 10^9\ \text{N.m}^2/\text{C}^2)\frac{(2 \times 10^{-6}\ \text{C})(4 \times 10^{-6}\ \text{C})}{(0.20\ \text{m})^2} = 1{,}8\ \text{N}.$$

$$F_3 = k\frac{qq'}{r^2} = (9 \times 10^9\ \text{N.m}^2/\text{C}^2)\frac{(3 \times 10^{-6}\ \text{C})(4 \times 10^{-6}\ \text{C})}{(0.20\ \text{m})^2} = 2{,}7\ \text{N}.$$

Komponen gaya resultan pada muatan 4 μC adalah :

$F_x = F_2 \cos 60° - F_3 \cos 60° = (1{,}8 - 2{,}7)(0{,}5)\ \text{N} = -0{,}45\ \text{N}$

$F_y = F_2 \sin 60° - F_3 \sin 60° = (1{,}8 + 2{,}7)(0{,}866)\ \text{N} = 3{,}9\ \text{N}$

Maka

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{(0{,}45)^2 + (3{,}9)^2}\ \text{N} = 3{,}9\ \text{N}$$

Sudut antara gaya resultan dan sumbu -*Y* positif adalah arctan (0,45/3,9) = 7° hingga θ = 97°.

1-22. Tentukan besar dan arah gaya yang terjadi jika muatan + 4×10^{-9} C terletak sejauh 5 cm dari muatan + 5×10^{-8} C ?

Jawab : Karena 5 cm = 5×10^{-2} m, dari Hukum Coulomb diperoleh :

$$F = k\frac{q_1 q_2}{r^2} = \frac{9 \times 10^9 \left[\text{N.m}^2/\text{C}^2\right] \times 4 \times 10^{9}\ [\text{C}]\ 5 \times 10^{-8}\ [\text{C}]}{(5 \times 10^{-2}\ \text{m})^2} = 7{,}2 \times 10^{-4}\ \text{N}.$$

arahnya menjauh dari muatan 5×10^{-8} C, karena kedua muatan bertanda positif.

1-23. Atom hidrogen mengandung sebuah proton (bermuatan + *e*) dan sebuah elektron (bermuatan – *e*), terpisah dengan jarak rata-rata $5{,}3 \times 10^{-11}$ m. Tentukan gaya tarik-menarik antara kedua muatan tersebut ?

Jawab : = $1{,}6 \times 10^{-19}$ C, dari hukum Coulomb diperoleh :

$$F = k\frac{q_1 q_2}{r^2} = \frac{9 \times 10^9 \left[\text{N.m}^2/\text{C}^2\right] \times (1{,}6 \times 10^{-9}\ \text{C})^2}{(5{,}3 \times 10^{-11}\ \text{m})^2} = 8{,}2 \times 10^{-8}\ [\text{N}].$$

1-24. Dua buah muatan + 5×10^{-7} C dan -2×10^{-7} C, tarik menarik dengan gaya 100 N. Berapakah jaraknya ?

Jawab : Dari hukum Coulomb.

$$r = \frac{kq_1 q_2}{F} = \frac{9 \times 10^9 \left[\text{N.m}^2/\text{C}^2\right] \times 5 \times 10^{-7}\ [\text{C}] \times 2 \times 10^{-7}\ [\text{C}]}{10^2\ [\text{N}]}$$

$$= 90 \times 10^{-7}\ [\text{m}^2] = 3 \times 10^{-3}\ [\text{m}] = 3\ [\text{mm}]$$

1-25. Dua buah muatan tolak menolak dengan gaya 10^{-5} N, bila berjarak 20 cm.

a. Berapakah besar gaya tersebut bila jaraknya 5 cm ?
b. Berapakah besar gaya tersebut bila jaraknya 100 cm ?

Jawab :

a. Karena F berbanding lurus dengan $\frac{1}{r^2}$, perubahan gaya bila muatan didekatkan, menjadi $(\frac{20}{5})^2 = 16$ kali gaya sebelumnya.

   Jadi besarnya gaya : $F = 16 \times 10^{-5}$ N

b. Bila muatan dijauhkan gaya turun menjadi $(20/100)^2 = 0{,}04$ kali gaya semula, jadi besarnya $F = 4 \times 10^{-7}$ N.

1-26. Pada keadaan bagaimanakah gaya tarik gravitasi antara 2 proton sama besar dengan gaya tolak menolak listriknya.

Jawab :

Massa proton $1{,}67 \times 10^{-27}$ kg, gaya gravitasi antara 2 proton yang terpisah sejarak *r* adalah:

$$F_{graf} = \frac{G\, m_1\, m_2}{r^2}$$

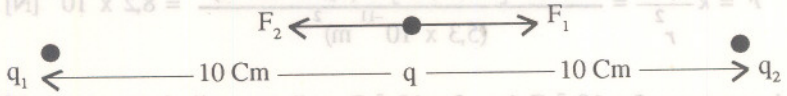
$$F_{graf} = \frac{6{,}67 \times 10\ [N.m/kg] \times (1{,}67 \times 10^{-27}\ [kg])^2}{r^2} = \frac{1{,}86 \times 10^{-64}}{r^2}\ [N]$$

Gaya listrik antara kedua proton adalah :

$$F_{listrik} = \frac{k q_1 q_2}{r^2} = \frac{9 \times 10^9\ [N.m^2/C^2] \times (1{,}6 \times 10^{-19}\ C)^2}{r^2} = \frac{2{,}3 \times 10^{-28}}{r^2}\ [N].$$

Untuk setiap jarak r, gaya listrik antara 2 proton 10^{36} kali lebih besar dari pada gaya grafitasinya, jadi kedua gaya tersebut tidak pernah sama besar.

1-27. Muatan uji + 1 x 10^{-6} C diletakkan ditengah-tengah antara muatan + 5 x 10^{-6} C dan + 3 x 10^{-6} C yang berjarak 20 cm (gambar 1-13).
Tentukan besar dan arah gaya pada muatan uji tersebut !
Jawab :



Gambar 1-13

Gaya pada muatan uji yang disebabkan oleh muatan q_1 adalah :

$$F_1 = \frac{k q q_1}{r_1^2} = \frac{9 \times 10^9\ [N.m^2/C^2] \times 1 \times 10^{-6}\ [C] \times 5 \times 10^{-6}\ [C]}{(0{,}1\ m)^2} = +4{,}5\ [N].$$

Gaya positif, karena daerah kekanan yang disebabkan oleh muatan q_2.

$$F_2 = \frac{k q_2 q}{r_1^2} = \frac{9 \times 10^9\ [N.m^2/C^2] \times 1 \times 10^{-6}\ [C] \times 3 \times 10^{6}\ [C]}{(0{,}1\ m)^2} = -2{,}7\ [N].$$

Soal-soal Tambahan

1-28. Sebuah atom oksigen mempunyai 8 proton dalam intinya
   a. Berapakah jumlah elektron yang dipunyainya ?
   b. Berapakah jumlah elektron yang ada dalam ion 0^{-2} ?

1-29. Informasi apa yang diberikan oleh garis-garis gaya medan listrik ?

1-30. Mengapa garis-garis gaya suatu medan listrik tidak mungkin saling berpotongan ?

1-31. Batang bermuatan + q dan -q pada ujung-ujungnya diletakkan pada medan listrik serba sama yang berobah sejajar batang, apa yang terjadi pada batang ?

1-32. Soal no 1-31, dengan arah medan tegak lurus batang, apa yang terjadi

1-33. 10^9 elektron ditambahkan pada sebuah bola yang netral. Berapakah muatannya ?

1-34. Berapakah besar dan arah gaya pada suatu muatan + $2x10^{-7}$C yang berjarak 0, 3m dari muatan -5 x 10^{-7} C ?

1-35. Berapakah gaya yang terjadi antara 2 muatan + 1C, yang terpisah sejauh 1m ?

1-36. Dua buah elektron saling tolak-menolak dengan gaya 10^{-8} N. Berapakah jaraknya ?

1-37. Dua buah muatan tarik-menarik dengan gaya 10^{-6} N, bila berjarak 1cm satu terhadap yang lain.

a. Berapakah jaraknya bila gaya tersebut 10^{-4} N?

b. Berapakah jaraknya bila gaya tersebut 10^{-8} N?

1-38. Muatan uji "+ 2 x 10^{-7} C terletak -5 cm dikanan muatan +1 x 10^{-6} C dan 10 cm dikiri muatan -1 x 10^{-6} C. Ketiga muatan tersebut terletak satu garis.
Berapakah gaya yang terjadi pada muatan uji ?

1-39. Muatan + 1x 10^{-7} C dan $3x10^{-7}$ C terpisah sejauh 40 cm.

a. Dimanakah suatu muatan +q harus diletakkan diantara kedua muatan tersebut, agar tidak ada gaya yang bekerja padanya ?

b. Dimana muatan -q harus diletakkan untuk tujuan yang sama ?

1- 40. Berapakah gaya yang bekerja pada muatan 10^{-6} C dalam suatu medan listrik 50 V/m ?

1- 41. Ada berapa elektron dalam muatan 1 C, dan berapakah massa maupun berat elektron-elektron itu ?

1- 42. Seandainya terdapat dua muatan sebesar 1 C terpisah dalam udara pada jarak 1 km berapakah gaya antara keduanya ?

1- 43. Tentukan gaya antara dua buah elektron berjarak 1 Å (= 10^{-10}m).

1- 44. Berapakah gaya tolak antara dua buah inti argon berjarak 1 nm (10^{-9} m) ? Muatan inti atom argon ialah + 18 *e*.

1- 45. Dua bola yang bermuatan sama saling tolak-menolak dengan gaya 4 x 10^{-5} N apabila berada dalam udara pada jarak pisah 3 cm.
Berapakah muatan bola ?

1- 46. Tiga buah muatan terdapat pada sumbu x sebagai berikut : muatan + 2 μC pada x = 0, muatan -3 μC pada x =40 cm, dan muatan -5 μC pada x = 120 cm. Tentukan
(a) gaya yang diderita muatan -3 μ C, dan
(b) gaya yang diderita muatan -5 μC.

1- 47. Pada keempat sudut bujursangkar (sisi 40 cm) terdapat empat buah muatan sama, yakni + 3μC. Tentukan gaya yang diderita masing-masing muatan.

1- 48. Pada keempat sudut bujursangkar (sisi 40 cm) terdapat empat buah muatan sama yakni + 3 μC. Dua diantaranya yang berseberangan secara diagonal bermuatan positif, dan yang dua lainnya bermuatan negatif. Tentukan gaya yang diderita kedua muatan negatif itu.

1- 49. Pada ketiga sudut segitiga sama sisi (sisi 10 cm) terdapat muatan + 2, + 3, dan -8 μ C. Tentukan gaya yang diderita muatan -8 μC ini.

1-50. Sebuah muatan (+5 μC) ditempatkan di x =0, dan muatan kedua (+7μC) di x = 100 cm. Dimanakah muatan ketiga harus ditempatkan agar resultan gaya yang dideritanya dari kedua muatan lain itu sama dengan nol ?

1-51. Dua bola kecil yang identik diberi muatan + 3 nC. Mereka ditempatkan pada jarak pisah 3 cm.
(a) Hitunglah gaya tariknya ;
(b) Kedua bola disentuhkan satu pada yang lain, kemudian dikembalikan pada posisi semula. Bagaimana gaya pada masing-masing sekarang?

1-52. Suatu muatan titik + 24 stat coulomb ditaruh 6 cm dari suatu muatan titik yang kedua sebesar-12 statcoulomb.
(a) Berapa gaya yang dialami tiap -tiap muatan ?
(b) Berapakah besarnya gaya perpaduan pada suatu muatan +3 statcoulomb yang ditempatkan di tengah-tengah antara mereka ?
(c) Pada titik mana muatan +3 statcoulomb harus ditempatkan supaya gaya perpaduan padanya menjadi nol?

1-53. Berapa kelebihan elektron harus ditetapkan pada tiap-tiap dua bola yang kecil yang berjarak 3 cm jika gaya tolak-menolak antara dua bola itu dimaksudkan 10^{-19} n?

1-54. Dua buah bola kecil masing-masing dimuati positif, muatan campuran berjumlah 26 statcoul. Berapakah muatan pada tiap2 bola jika mereka didorong oleh gaya 3 dyne apabila berjarak 4 cm ?

1-55. Muatan² titik 2 x 10^{19} coul ditaruh pada tiga sudut dari suatu segi empat yang sisinya ialah 0.20m. Berapakah besar dan arah gaya perpaduan pada suatu muatan titik -1 x 10^{-19} coul dia taruh pada :
(a) pada pusat segi empat
(b) pada sudut yang tidak terisi itu dari segi empat.

1-56. 6.02 x 10^{23} atom dari atom tunggal zat air mempunyai massa satu gram. Berapa jauh elektron zat air itu harus dipindahkan dari intinya supaya gaya tarik-menariknya sama dengan beratnya atom ?

1-57. Radium menjadi radon (nomor atom 86) secara radio aktif dengan memancarkan partikel -x dari intinya.
(a) Berapakah gaya tolak-menolak antara inti radon dan partikel -α apabila jarak antara mereka ialah 5x10^{-11} cm ? (b) Berapakah percepatan partikel -α pada jarak ini ?

1-58. Dua bola yang amat kecil, masing-masing beratnya 3x10^{-5}n, digantung pada benang sutera yang panjangnya 5x10^{-2} dari satu titik. Apabila bola-bola itu diberi muatan negatif yang sama besarnya, masing-masing benang penggantung itu membuat suatu sudut 30° dengan vertikal.
Carilah besarnya muatan.

1-59. Dalam model Bohr untuk atom zat air, sebuah elektron berputar dalam lintasan yang berbentuk lingkaran mengelilingi inti yang terdiri atas satu proton. Jika jari-jari lintasan 5.28 x 10^{-9} cm, carilah jumlah putaran elektron per detik. Gaya tarik menarik elektrostatik antara proton dan elektron memberikan gaya centripetal.

1-60. Dua buah muatan + 10^{-9} coul masing-masingberjarak 8 cm didalam udara. Carilah besar dan arah dari gaya yang diberikan oleh muatan-muatan ini pada suatu muatan ketiga yang besarnya +5x10^{11} coul yang jaraknya 5 cm dari masing-masing muatan yang pertama.

1-61. Dua buah bola kecil yang berlapiskan logam masing-masing massanya 14 gram, pada ujungnya dipegang oleh benang sutera yang panjangnya 70 cm. Ujung-ujung yang lain dari benang itu diikatkan pada satu titik. Muatan-muatan ditaruh pada bola dan mereka tiba pada keseimbangan pada jarak 10 cm dari masing-masing. Jika muatan pada bola ialah -0.04 μ coul, berapakah muatan pada bola yang lain ?

1-62. Dua buah muatan titik positif yang sama berjarak 2a. Ditengah-tengah diantara mereka dan normal pada garis yang menghubungkan mereka ada suatu bidang tempat kedudukan titik-titik dimana gaya pada suatu muatan titik yang ditaruh dibidang ialah maximum, berupa sebuah lingkaran, karena simetri. Hitunglah jari-jari lingkaran ini.