الحقل الكهربائي الساكن

♥ تعريف الحقل الكهربائي:

هو منطقة من الفراغ تتعرض فيها كل شحنة كهربائية لقوة كهربائية تجاذبية أو تنافرية.

♥ شدة الحقل الكهربائي الساكن المتولد عن شحنة نقطية ساكنة:

نضع شحنة نقطية q في نقطة ما فينتج عنها حقل كهربائي ساكن وتدعى هذه الشحنة بـِ **الشحنة المولدة للحقل الكهربائي** ويزداد هذا الحقل كلما اقتربنا من الشحنة المولدة للحقل الكهربائي، وتتناقص كلما ابتعدنا عن الشحنة المولدة للحقل الكهربائي.

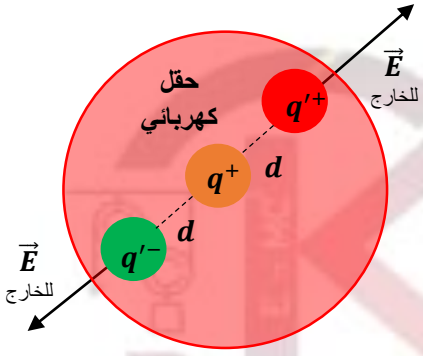
- **انتباه:** q قد تكون موجبة $q > 0$ أو سالبة $q < 0$.

ولاستنتاج عناصر شعاع الحقل الكهربائي الساكن في نقطة:

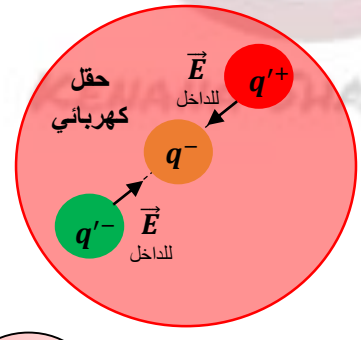
نضع شحنة نقطية q' **(متأثرة)** ضمن حقل كهربائي حيث تبعد مسافة d عن الشحنة q **(المولدة للحقل)**، سوف تتأثر الشحنة q' بشعاع الحقل الكهربائي $\vec{E}$ وتكون عناصره:

1. **نقطة التأثير:** النقطة المدروسة q'.
2. **الحامل:** المستقيم المار من النقطة المدروسة q' والشحنة المولدة للحقل الكهربائي q.
3. **الجهة:**

الحالة الأولى: إذا كانت $q > 0$ فإن جهة الحقل بعكس جهة q **(نحو الخارج)**.



الحالة الثانية: إذا كانت $q < 0$ فإن جهة الحقل بجهة q **(نحو الداخل)**.



ملاحظات هامة:

1- لا ننسى أبداً أن q هي الشحنة المولدة للحقل أو هي الشحنة المؤثرة وهي التي تحدد جهة الحقل الكهربائي.

2- لا تتعلق جهة الحقل الكهربائي بنوع الشحنة q' إذا كانت سالبة q'^{-} أو موجبة q'^{+} حيث أن الشحنة q' هي الشحنة المتأثرة بالحقل الكهربائي.

4. الشدة: تعطى بالعلاقة الآتية:

$$E = \frac{F}{q'} = \frac{\text{القوة الكهربائية}}{\text{الشحنة المتأثرة}} \quad (*)$$

ونستطيع كتابة عبارة شدة الحقل الكهربائي بدلالة الشحنة المولدة للحقل q كما يلي:

نعوض علاقة شدة القوة الكهربائية في (*)

$$\boxed{F = 9 \times 10^9 \frac{q \cdot q'}{d^2}}$$

$$E = 9 \times 10^9 \frac{\frac{q \cdot q'}{d^2}}{q'}$$

$$\Rightarrow \boxed{E = 9 \times 10^9 \frac{q}{d^2} = k\frac{q}{d^2}}$$

وهي عبارة شدة الحقل الكهربائي بدلالة الشحنة المولدة للحقل الكهربائي.

أي نستنتج أن لشدة الحقل الكهربائي علاقتين:

$$E = \frac{F}{q'} \quad , E = k\frac{q}{d^2}$$

حيث أن:

q : الشحنة المولدة للحقل وتقدر بالكولوم C.

q' : الشحنة المتأثرة بالحقل وتقدر أيضاً بالكولوم C.

d : بعد النقطة المعتبرة عن q المولدة للحقل، وتقدر بـ m المتر.

k : ثابت كولوم $K = 9 \times 10^9 N \cdot m^2 \cdot C^{-2}$

F : شدة القوة الكهربائية المؤثرة في الشحنة q' وتقدر بالنيوتن N.

E : شدة الحقل الكهربائي في نقطة d تبعد عن الشحنة q المولدة للحقل وتقدر بوحدة $N \cdot C^{-1}$ أو $C \cdot m^{-2}$

♥ الحقل الكهربائي الساكن المتولد عن عدة شحنات نقطية:

أ. كنانة شموط (0988055790)

في حال وجود عدة شحنات نقطية ساكنة، تولد كل منها حقلاً كهربائياً في نقطة واحدة a نحسب الحقل الناتج عن كل شحنة عند a ثم نجمع الحقول جمعاً شعاعياً للحصول على الحقل الكهربائي الكلي المؤثر في a أي:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \cdots$$

ملاحظة: إذا كانت محصلة الحقول الكهربائية في نقطة ما معدومة فإن هذه النقطة تسمى **نقطة التعادل الكهربائي.**

ملاحظة: إذا كانت لدينا شحنتين مؤثرتين في شحنة ما ولحساب الحقل الكهربائي الكلي الناتج عن الشحنتين المؤثرتين في تلك الشحنة نميز أربع حالات:

1. إذا كان شعاعي الحقلين على حامل واحد وبجهة واحدة فإن:

$$E_{\text{كلي}} = E_1 + E_2$$

2. إذا كان شعاعي الحقلين على حامل واحد وبجهتين متعاكستين فإن:

$$E_{\text{كلي}} = E_{\text{الكبير}} - E_{\text{الصغير}}$$

3. إذا كان شعاعي الحقلين متلاقين ومتعامدين فإن:

$$E_{\text{كلي}} = \sqrt{E_1^2 + E_2^2}$$

4. إذا كان شعاعي الحقلين متلاقين وغير متعامدين فإن:

$$E_{\text{كلي}}^2 = E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2\cos\theta$$

حيث θ هي الزاوية بين شعاعي الحقلين $\vec{E}_1 , \vec{E}_2$

☺ بعض الأسئلة الهامة في هذا الدرس:

1. ماذا ينتج إذا كانت محصلة الحقول الكهربائية معدومة؟

الجواب: نقطة التعادل الكهربائي.

2. على ماذا تدل الخطوط المنحنية للحقل الكهربائي؟

الجواب: تدل الخوط المنحنية على أن الحقل الكهربائي يتغير.

3. على ماذا تدل الخطوط المتوازية للحقل الكهربائي؟

الجواب: تدل الخطوط المتوازية على أن الحقل الكهربائي منتظم.

4. إلى ماذا تؤدي زيادة شدة الحقل الكهربائي؟

الجواب: تجعل خطوط الحقل متراصة على بعضها أكثر.

5. متى نقول عن الحقل الكهربائي الساكن أنه منتظم في تجربة الصفيحتين المتوازيتين؟

الجواب: إذا تساوت أشعة الحقل الكهربائي في كل نقطة من تواجد الحقل حامل وجهة وشدة.

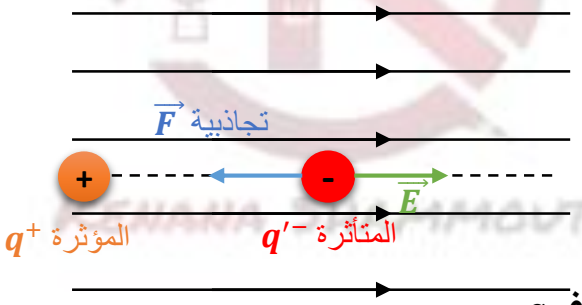
ملاحظات: 1- أشعة الحقل الكهربائي الساكن مماسية لخطوط الحقل في كل نقطة من المنطقة التي يسودها.

2- في كل نقطة من المطقة التي يسودها حقل كهربائي لا يمر سوى خطاً واحداً، وبالتالي خطوط القوة لا تتقاطع أي لا يمكن أن يكون للحقل إلا اتجاه واحد وشدة واحدة فقط.

حل المسائل الآتية:

المسألة الأولى:

وضعت شحنة كهربائية نقطية $q = -2\ \mu C$ في نقطة يسودها حقل كهربائي منتظم فتأثرت بقوة شدتها $F = 0.08\ N$ **والمطلوب:**



1. احسب شدة الحقل الكهربائي المنتظم المؤثر على q.
2. ارسم شكلاً توضيحياً:
   a. خطوط قوة الحقل الكهربائي.
   b. شعاع القوة الكهربائية وشعاع الحقل الكهربائي المؤثرين في q.

الحل ...

- معطيات المسألة:

$$q'_{\text{المتأثرة}} = -2\ \mu C = -2 \times 10^{-6}\ C$$

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

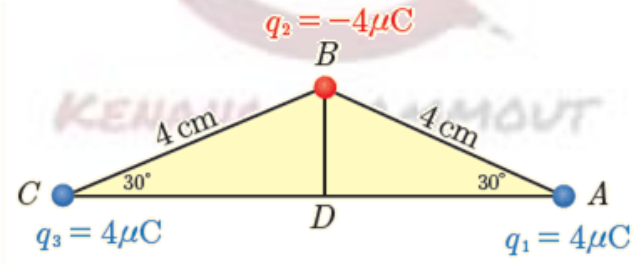
$$E = \frac{F}{q'} = \frac{8 \times 10^{-2}}{2 \times 10^{-6}} = 4 \times 10^{+4}\ N \cdot C^{-1}$$

انتهت المسألة الأولى ...

المسألة الثانية:

من خلال قراءتك للشكل المجاور **المطلوب:**

1. احسب شدة الحقل الكهربائي الكلي في النقطة D.
2. احسب شدة القوة الكهربائية المؤثرة في الشحنة q_2 المتوضعة في النقطة B.



الحل ...

أ. كنانة شموط (0988055790)

معطيات المسألة:

$$q_1 = 4\mu C = 4 \times 10^{-6} C$$
$$q_2 = -4\ \mu C = -4 \times 10^{-6}\ C$$
$$q_3 = 4 \times 10^{-6}\ C$$

1. الطلب الأول:

$$E_D = E_1 + E_2 + E_3$$

نحسب ?= E_1 الناتج عن q_1 في D

$$E_1 = 9 \times 10^9 \frac{|q_1|}{d_1^2}$$

ولكن ?= d_1 نحسبها حسب فيثاغورث

$$d_1^2 = 4^2 - 2^2 = 16 - 14 = 12$$
$$\Longrightarrow d_1 = \sqrt{12} \times 10^{-2}\ m$$
$$\Longrightarrow E_1 = 9 \times 10^9 \frac{4 \times 10^{-6}}{\left(\sqrt{12} \times 10^{-2}\right)^2}$$
$$= 9 \times 10^9 \frac{4 \times 10^{-6}}{12 \times 10^{-4}} = 3 \times 10^{+9} \times 10^{-2}$$
$$E_1 = 3 \times 10^{+7}\ N \cdot C^{-1}$$

الآن نحسب ?= E_2 الناتج عن q_2 في D

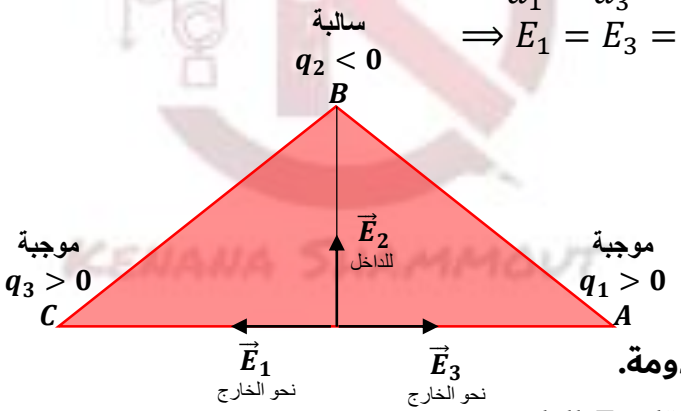
$$E_2 = 9 \times 10^9 \frac{|q_2|}{d_2^2} = 9 \times 10^9 \frac{4 \times 10^{-6}}{(2 \times 10^{-2})^2}$$
$$= \frac{\mathbf{9 \times 10^9 \times 4 \times 10^{-6}}}{\mathbf{4 \times 10^{-4}}} = \mathbf{9 \times 10^9 \times 10^{-6} \times 10^{+4}}$$
$$\Longrightarrow E_2 = 9 \times 10^{+7}\ N \cdot C^{-1}$$

الآن نحسب ?= E_3 الناتج عن q_3 في D

$$E_3 = 3 \times 10^{+7}\ N \cdot C^{-1}$$

لأن $q_3 = q_1$ والبعدان متماثلان

$$d_1 = d_3 = \sqrt{12} \times 10^{-2}\ m$$
$$\Longrightarrow E_1 = E_3 = 3 \times 10^{+7}\ N \cdot C^{-1}$$



الآن نوجد ?= $E_{\text{كلي}}$

إن الحقلين E_1 , E_3 على حامل واحد وبجهتين متعاكستين وشدتين متساويتين ⟸ محصلتهما معدومة.

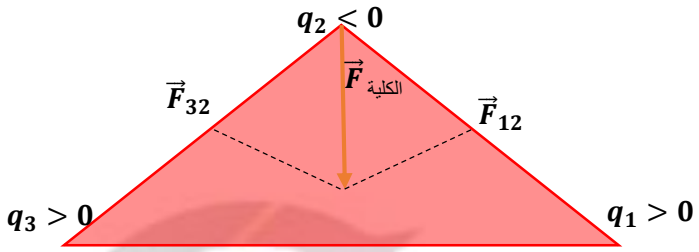
فإن الحقل الكهربائي الكلي المؤثر في النقطة D هو الحقل E_2 الناتج عن q_2

$$\Longrightarrow E_{\text{كلي}} = E_2 = 9 \times 10^{+7}\ N \cdot C^{-1}$$

أ. كنانة شموط (0988055790)

2. الطلب الثاني:

$$F^2_{\text{كلية}} = F^2_{12} + F^2_{32} + 2F_{12}F_{32}\cdot\cos\theta \quad (*)$$



$$\Rightarrow F_{12} = 9\times10^9\frac{|q_1||q_2|}{d^2} = \frac{9\times10^9\times4\times10^{-6}\times4\times10^{-6}}{(4\times10^{-2})^2}$$

$$F_{12} = \frac{9\times10^9\times16\times10^{-12}}{16\times10^{-4}} = 9\times10^9\times10^{-12}\times10^{+4}$$

$$\Rightarrow F_{12} = 90\ N$$

$$F_{32} = 9\times10^9\frac{|q_2|\,|q_3|}{d^2} = \frac{9\times10^9\times4\times10^{-6}\times4\times10^{-6}}{(4\times10^{-2})^2}$$

$$F_{32} = \frac{9\times10^9\times16\times10^{-12}}{16\times10^{-4}} = 90\ N$$

الآن لنوجد الزاوية ؟= θ

$$\theta = 180-(30+30) \Rightarrow \theta = 120$$

$$\Rightarrow \cos(120) = \cos(180-60) = \cos(-60)$$

$$\Rightarrow \cos(120) = -\cos(60) = -\frac{1}{2}$$

الآن نعوض جميع المعطيات السابقة بـ (*)

$$F^2 = (90)^2 + (90)^2 + 2(90)(90)\left(-\frac{1}{2}\right)$$

$$F^2 = (90)^2 + (90)^2 - (90)^2 = (90)^2$$

$$\Rightarrow F = 90\ N$$

انتهت المسألة الثانية ...

المسألة الثالثة:

وضعت أربع شحنات نقطية $q_1 = 2\ \mu C, q_2 = 4\ \mu C$ **على زوايا مربع طول ضـــلعه** $a = 0.1\ m$ **مرتبة على التوالي باتجاه دوران عقارب الساعة، والمطلوب:**

1. احسب شدة الحقل الكهربائي الكلي الساكن عند مركز المربع.

2. حدد عناصـــر القوة الكهربائية المؤثرة في إلكترون موضـــوع في مركز المربع حيث أن شـــحنة الإلكترون $e = 1.6\times10^{-19}\ C$.

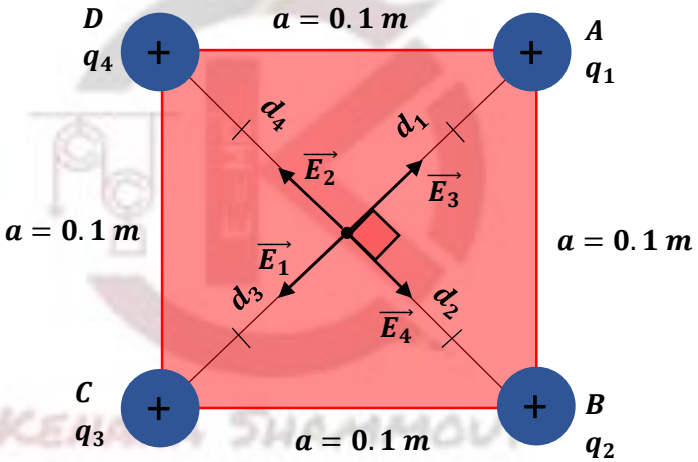
الحل ...

- **معطيات المسألة:**

أ. كنانة شموط (0988055790)

$q_1 = 2 \times 10^{-6} C \, , q_2 = 4 \times 10^{-6} C$
$q_3 = 6 \times 10^{-6} C \, , q_4 = 8 \times 10^{-6} C$

نحسب E_1 الناتج عن q_1 في مركز المربع



$$E_1 = 9 \times 10^9 \frac{|q_1|}{d_1^2}$$
$$d_1 = ?$$
$$= 9 \times 10^9 \frac{2 \times 10^{-6}}{d_1^2}$$

نحسب $d_1 = ?$ من المثلث ΔABD

$$BD^2 = AB^2 + AD^2$$
$$BD^2 = a^2 + a^2 = (0.1)^2 + (0.1)^2$$
$$BD = \sqrt{2(0.1)^2} = 0.1\sqrt{2}$$

ولكن $d_1 = \frac{BD}{2} = \frac{0.1}{2}\sqrt{2}$

ولكن $d_1 = d_2 = d_3 = d_4 = \frac{0.1}{2}\sqrt{2}\ m$

$$\Longrightarrow E_1 = 9 \times 10^9 \frac{2 \times 10^{-6}}{\left(\frac{0.1}{2}\sqrt{2}\right)^2} = 9 \times 10^9 \frac{2 \times 10^{-6} \times 4}{10^{-2} \times 2}$$
$$= 9 \times 10^9 \times 10^{-6} \times 4 \times 10^{+2}$$
$$\Longrightarrow E_1 = 36 \times 10^{+5}\ N \cdot C^{-1}$$

نحسب E_2 الناتج عن q_2 في مركز المربع

$$E_2 = 9 \times 10^9 \frac{|q_2|}{d_2^2} = \frac{9 \times 10^9 \times 4 \times 10^{-6} \times 4}{10^{-2} \times 2}$$
$$E_2 = 72 \times 10^{+5}\ N \cdot C^{-1}$$

نحسب E_3 الناتج عن q_3 في مركز المربع

$$E_3 = 9 \times 10^9 \frac{|q_3|}{d_3^2} = \frac{9 \times 10^9 \times 6 \times 10^{-6} \times 4}{10^{-2} \times 2}$$
$$E_3 = 108 \times 10^{+5}\ N \cdot C^{-1}$$

نحسب E_4 الناتج عن q_4 في مركز المربع

$$E_4 = 9 \times 10^9 \frac{|q_4|}{d_4^2} = \frac{9 \times 10^9 \times 8 \times 10^{-6} \times 4}{10^{-2} \times 2}$$
$$E_4 = 144 \times 10^{+5}\ N \cdot C^{-1}$$

إن الحقلين $\vec{E}_3, \vec{E}_1$ على حامل واحد وبجهتين متعاكستين فتكون محصلتهما

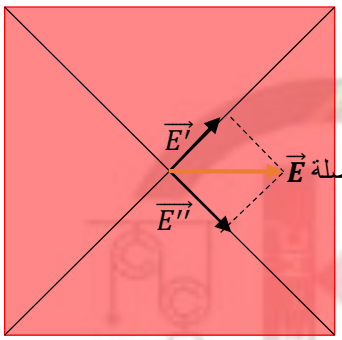
$$E' = E_3 - E_1 = 108 \times 10^{+5} - 36 \times 10^{+5}$$
$$E' = 72 \times 10^{+5}\ N \cdot C^{-1}$$

كما أن الحقلين $\vec{E}_4, \vec{E}_2$ على حامل واحد وبجهتين متعاكستين فتكون محصلتهما

أ. كنانة شموط (0988055790)

$$E'' = E_4 - E_2 = 144 \times 10^{+5} - 72 \times 10^{+5}$$
$$E'' = 72 \times 10^{+5}\ N \cdot C^{-1}$$

ولنرسم الآن E'', E' المتساويتان ونرسم محصلتهما $\vec{E}$ ونحسب شدة المحصلة E.



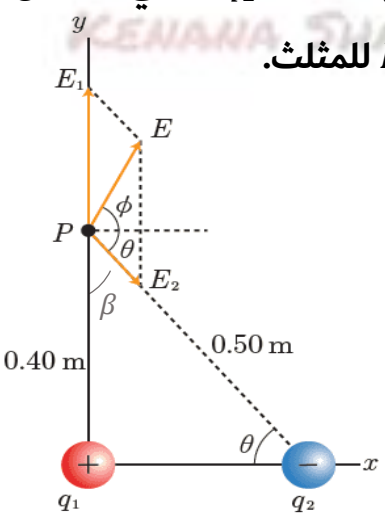
فيكون الحقل الكهربائي الكلي عند مركز المربع:

$$E = \sqrt{(72 \times 10^{+5})^2 + (72 \times 10^{+5})^2}$$
$$E = \sqrt{2 \times (72 \times 10^{+5})^2}$$
$$E = 72 \times 10^{+5}\sqrt{2}\ N \cdot C^{-1}$$

انتهت المسألة الثالثة ...

المسألة الرابعة:

شحنتان متوضعتان على رأسي مثلث قائم $q_1 = +16\ \mu C\ , q_2 = -12.5\ \mu C$ **كما في الشكل المجاور. والمطلوب: احسب شدة الحقل الكهربائي الناتج في الرأس الثالث P للمثلث.**



"أي المطلوب: $\vec{E} = ?$ **في P"**

الحل ...

معطيات المسألة:

$$q_1 = 16\ \mu C = 16 \times 10^{-6} C$$
$$q_2 = -12.5\ \mu C = -12.5 \times 10^{-6} C$$
$$E^2 = E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2\cos\alpha \quad (*)$$

حيث أن $\alpha = (\vec{E}_1\ \hat{,}\ \vec{E}_2)$

الآن نحسب $E_2\ , E_1$ ونجد $\cos\alpha$ ثم نعوض في (*)

$$E_1 = 9 \times 10^9 \frac{|q_1|}{d_1^2} = \frac{9 \times 10^9 \times 16 \times 10^{-6}}{\underbrace{16 \times 10^{-2}}_{(0.4)^2 = 16 \times 10^{-2}}}$$
$$E_1 = 9 \times 10^{+5}\ N \cdot C^{-1}$$
$$E_2 = 9 \times 10^9 \frac{|q_2|}{d_2^2} = \frac{9 \times 10^9 \times 12.5 \times 10^{-6}}{\underbrace{25 \times 10^{-2}}_{(0.5)^2 = 25 \times 10^{-2}}}$$
$$E_2 = 45 \times 10^{+4} = 4.5 \times 10^{+5}\ N \cdot C^{-1}$$

نلاحظ من الشكل نجد أن:

زاويتان متكاملتان $\alpha + \beta = 180$

$$\Longrightarrow \cos\alpha = -\cos\beta$$

ولكن أيضاً من الشكل يكون $\cos\beta$ **يساوي** $\frac{\text{المجاور}}{\text{الوتر}}$

أ. كنانة شموط (0988055790)

$$\cos\beta = \frac{\text{المجاور}}{\text{الوتر}} = \frac{0.4}{0.5} = 0.8$$

$$\Longrightarrow \cos\alpha = -0.8$$

الآن نعوض كل من E_2, E_1 و $\cos\alpha$ في (*)

$$E^2 = (9\times10^{+5}) + \left(\frac{9}{2}\times10^{+5}\right)^2 + 2\times9\times10^{+5}\times\frac{9}{2}\times10^{+5}(-0.8)$$

$$E^2 = (9\times10^{+5}) + \left(\frac{9}{2}\times10^{+5}\right)^2 + (-0.8)(9\times10^{+5})^2$$

$$E^2 = (9\times10^{+5}) + \left(\frac{9}{2}\times10^{+5}\right)^2 - (9\times10^{+5})^2(0.8)$$

$$E^2 = 81\times10^{+10} + \frac{81}{4}\times10^{+10} - 81\times10^{+10}\,(0.8)$$

$$E^2 = 81\times10^{+10} + 20.25\times10^{+10} - 64\times10^{+10}$$

$$E^2 = 36.45\times10^{+10} \Longrightarrow E \cong 6\times10^{+5}\ N\cdot C^{-1}$$

انتهت المسألة الرابعة ...

KENANA SHAMMOUT

أ. كنانة شموط (0988055790)