الفصل الأول
قانون كولوم Coulomb's Law

1-1 تعاريف ومبادئ اساسية

1- ظاهرة التكهرب

يمكن تعريف ظاهرة التكهرب على أنها:
عملية اكتساب أي جسم للشحنة الكهربائية، عندما يمتلك الجسم خاصية جذب الأشياء الخفيفة وهذا ما يحدث عند دلك مادتين ببعضهما مثلاً:

1. عند دلك ساق الأبونايت (البلاستك) بالفرو نحصل على شحنة سالبة.
2. عند دلك ساق الزجاج بالحرير نحصل على شحنة موجبة، أي تنتقل الإلكترونات من الزجاج (يصبح موجب الشحنة) إلى الحرير (يصبح سالب الشحنة).

ويمكن تعريف ظاهرة التكهرب أيضاً على أنها:
عملية توزيع شحنات كهربائية على الأجسام نتيجة عدم تساوي الشحنات السالبة والموجبة على الجسم.

* فإذا كانت هذه الشحنات موجودة على:

1. سطح جسم عازل، أو 2. جسم موصل معزول

فإنها تسمى ساكنة لأن محصلة القوى المؤثرة فيها = صفر.

* أما دراسة كهربائية الشحنات الساكنة فتسمى الكهربائية الساكنة (Electrostatic) أو الاستاتيكية وهي كهربائية مستقرة على هيئة شحنات متزنة.
* إن القوى بين الشحنات ***المتشابهة*** تكون قوى ***تنافر***، أما القوى بين الشحنات ***المختلفة*** فهي قوى ***تجاذب***.
* تكون المادة في حالتها الطبيعية متعادلة كهربائياً حيث تحتوي على مقدار متساوي من الشحنات الكهربائية الموجبة والسالبة، فعند دلك أي مادة (الزجاج أو البلاستك) يضطرب التعادل فيحصل انتقال بالشحنات بين الجسمين فيصبح أحدهما سالب والآخر موجب.
* هنالك جسيمات أخرى كثيرة تم اكتشافها منذ عام 1940 ولحد الآن مثل:

1. البوزترون: وهو الجسم الذي يحمل نفس مقدار شحنة الإلكترون (ولكنها موجبة) وله نفس كتلة الإلكترون.
2. النيوترينو

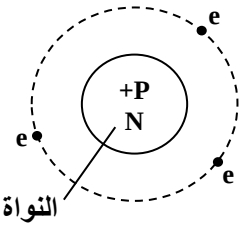
وغير ذلك من الجسيمات الأولية المستقرة وغير المستقرة التي اكتشفت في الأشعة الكونية.

2- المادة والشحنة The Charge and the Matter

تتركب ذرات المادة من الدقائق الآتية:

1. البروتون (p) يحمل شحنة موجبة تعادل الشحنة السالبة للإلكترون في المقدار.
2. النيوترون (n) لا يحمل شحنة.
3. الإلكترون (e) يحمل الشحنة السالبة.

وتتكون الذرة في نواة تتكدس فيها البروتونات (p) والنيوترونات (n)، فهي بذلك موجبة الشحنة، محاطة بسحابة من الإلكترونات.
تكون الذرة الاعتيادية في حالتها الطبيعية (غير مشحونة)، أي متعادلة كهربائياً.
وهذا يعني:



مجموع الشحنات السالبة = مجموع الشحنات الموجبة

$$p = e$$

مجموع الشحنات للإلكترونات = مجموع شحنات النواة

∴ الشحنة الكلية للذرة = صفر

ملاحظات:

* ***كتلة البروتون*** $m_p = 1.6725 \times 10^{-27}$ Kg
* ***كتلة النيوترون*** $m_n = 1.6748 \times 10^{-27}$ Kg

وهذا يعني

كتلة البروتون $\approx$ ***كتلة النيوترون*** $\approx 1.67 \times 10^{-27}$ Kg

* ***كتلة الإلكترون*** $m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ Kg

أي أن:

كتلة الإلكترون أصغر بحوالي (1840) مرة من كتلة البروتون لذا:

فإن كتلة الذرة تعتبر مركزة في النواة

* تكون نواة الذرة بشكل كرة . اذن:-

قطر النواة $R_N = 1 \times 10^{-15}$ m (لذرة الهيدروجين) وهي أصغر الذرات وأبسطها.

قطر النواة $R_N = 7 \times 10^{-15}$ m (للذرة الثقيلة مثل اليورانيوم).

قطر الذرة $R_A = 3 \times 10^{-10}$ m --- 1×10^{-10}.

وهذا يعني: أن قطر الذرة أكبر من قطر النواة بحوالي 10^5 مرة.

3- العدد الذري (Z) Atomic number

وهو يمثل عدد الإلكترونات الدائرة حول النواة في ذرة أي عنصر في حالتها الطبيعية وهو يساوي عدد البروتونات داخل النواة.

4- العدد الكتلي (A) Mass Number

وهو يمثل عدد البروتونات (p) والنيوترونات (n) الموجودة في ذرة أي عنصر

$$A = p + n$$

5- النظائر Isotopes

هي الذرات التي لها نفس العدد الذري ولكنها تختلف في عددها الكتلي

${}_ZH^A$

∴ تكون الخواص الكيميائية للنظائر متشـــابهة، لأن هذه الخواص تعتمد على عددها الذري، أي عدد الإلكترونات وتوزيعها خارج النواة.

أما الخواص الفيزيائية للنظائر فتكون مختلفة وذلك نتيجة لاختلافها في كتلها.

<u>مثال (1)</u>

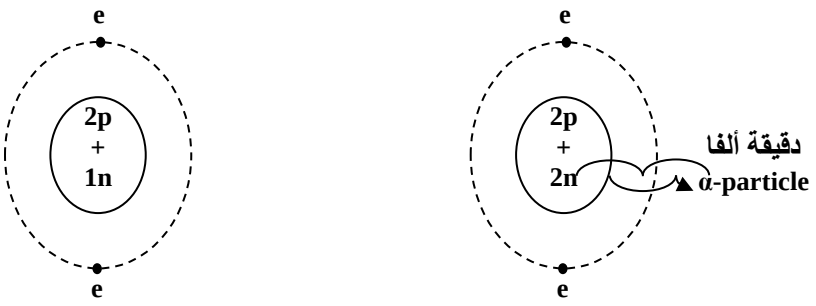
ذرة الهيدروجين توجد بشكل ثلاث نظائر هي:

${}_1H^1$	${}_1H^2$	${}_1H^3$
1- النواة تحتوي (p) فقط	2- (p + n)	3- (p + 2n)

مثال (2)

الهليوم يوجد على شكل نظيرين

$_2He^3$, $_2He^4$



6- قانون حفظ الشحنة Charge Conservation

أن الشحنة الكهربائية لا تفنى ولا تستحدث

مثال: عندما يتحد إلكترون (e) مع البوزترون فان الناتج هوً أشعة كاما

$$(-e) + (+e) \rightarrow \gamma$$

حيث تتحول ***كتلتا الدقيقتين*** إلى ***طاقة*** طبقاً لمعادلة انشتاين

$$E = mc^2$$

7- وحدة قياس الشحنة Charge Measurement Unit

تقاس الشحنة ***بالكولوم*** (C) ويعرف على أنه: كمية الشحنة للمادة خلال مقطع عرضي للسلك في الثانية الواحدة

$$1\ \mu C = 10^{-6}\ C$$

1- 2 تقسيم المواد Material Division

يمكن تقسيم المواد من حيث قابليتها في نقل الشحنات الكهربائية خلالها إلى الأقسام الآتية:

أ. المواد الموصلة Conductors

ب. المواد العازلة Insulators

ج. المواد شبه الموصلة Semiconductors

أ-المواد الموصلة Conductors

وهي المواد التي تنتقل خلالها الشحنة الكهربائية في الحال، وتعتبر من أجود المواد إيصالاً للكهربائية مثل:

1. الفضة 2. النحاس 3. الألمنيوم

وإن هذا يعود إلى التركيب البلوري (Crystal Structure) لهذه المعادن، حيث يتراصـــف عدد من الذرات مكوناً نظاماً هندسياً معيناً يسمى بشبيكة بلورية (Crystal Lattice) وبتكرار هذا التنظيم في اتجاهات ثلاثة متعامدة مكونة الجسم الذي نراه.

إن الإلكترونات الموجودة في الذرات تكون على نوعين:

1. إلكترونات التكافؤ Valence Electrons

* وهي إلكترونات المدارات الخارجية وعددها يتراوح (3-1) في المعادن، وتكون جميعها مشـــتركة بين جميع الذرات فهي ليست تابعة لذرة معينة.
* يكون ارتباط هذه الإلكترونات ضـــعيفاً بنواة الذرة، لذا فهي حرة في التنقل داخل التركيب البلوري للمعادن لهذا تدعى أيضـــاً بالإلكترونات الطليقة (Free Electrons) وبتنقلها هذا تجعل المعادن متميزة عن غيرها في جودتها للتوصيل الكهربائي.

2. الإلكترونات المقيدة Bound Electrons

* وهي إلكترونات المدارات الداخلية، حيث تكون مرتبطة بنواة الذرة بقوى كهربائية قوية.
* هناك حالات أخرى قد تكون الآيونات موجبة الشـــحنة والآيونات ســـالبة الشـــحنة مســـؤولة عن نقل الشـــحنات الكهربائية كما هة في المحاليل الإلكتروليتية التي تعتبر من الموصلات الجيدة.

ملاحظة:

إن الشـحنات السـالبة هي المسـؤولة عن نقل الشـحنة في المعادن. أما الشـحنات الموجبة الموجودة في داخل نوى الذرات فهي ثابتة في أماكنها في التركيب البلوري للمعدن.

ب-المواد العازلة Insulators

وهي المواد التي تحتوي على ندرة من الشحنات الحرة فلا تسمح بمرور التيار الكهربائي.

حيث أن جميع إلكترونات المدار الخارجي للذرة تكون مرتبطة بالنظام البلوري أو التركيب الجزيئي للمادة ومن أمثالها: الزجاج، البلاستك، المايكا، الكبريت، الهواء الجاف، الماء المقطر.

ج-المواد شبه الموصلة Semiconductors

* وهي المواد التي لها خواص وسـطية بين الموصـلات والعوازل من حيث قابليتها في التوصـيل الكهربائي ومن أشهرها الجرمانيوم والسليكون
* تكون عازل جيد في درجات الحرارة الواطئة.
* تكون موصل جيد في درجات الحرارة العالية.
* تستعمل في صناعة الترانزستورات والخلايا الشمسية.

- الجرمانيوم رباعي الكتافؤ، تركيبه البلوري نفس التركيب البلوري للماس.

* في درجات الحرارة المنخفضـــة جداً أو القريبة من الصـــفر: للبلور النقية لعنصـــر الجرمانيوم تكون جميع الإلكترونات مشدودة بأواصر فيكون الجرمانيوم عازل قوي في هذه الحالة.
* أما إذا رفعت درجة حرارته إلى درجة حرارة الغرفة مثلاً: فإن الطاقة الحرارية التي تكتسبها الإلكترونات تكون كافية لكسر بعض الأواصر وتحرير قسم من الإلكترونات لتتجول داخل البلورة فتصبح موصلة.
* كما بالإمكان زيادة قابلية التوصـيل الكهربائي بإضـافة كميات صـغيرة من الشـوائب إلى بلورة الجرمانيوم مثل الزرنيخ أو القصـــدير أو أي عنصـــر خماســـي التكافؤ. حيث ترتبط كل ذرة زرنيخ بذرات الجرمانيوم الأربعة المجاورة لها بأربعة إلكترونات فقط في مدارها الخارجي. أما الإلكترون الخامس فيبقى طليقاً ليقوم بمهمة التوصيل لكن بدرجة أضعف مما عليه في المعادن.

يدعى شبه الموصل هذا مادة نصف الموصلة من النوع السالب (N-type) لأن الإلكترونات هي المسؤولة عن توصيل الكهربائية للمادة.

* كما بالإمكان زيادة قابلية التوصيل الكهربائي بإضافة كمية صغيرة من أحد العناصر ثلاثية التكافؤ كالألمنيوم أو البورون إلى بلورة الجرمانيوم حيث تحتوي على ذرة ألمنيوم بدلاً من إحدى ذرات الجرمانيوم كمادة شائبة.

تعجز ذرة الألمنيوم عن تهيئة إلكترون رابع لكي يكتمل التنظيم البلوري وترتبط ذرة الألمنيوم (التي يحتوي مدارها الخارجي ثلاثة إلكترونات) بذرات الجرمانيوم الأربعة المجاورة، فيتولد فراغ في البلورة يدعى فجوة (Hole) تكون على اســـتعداد لتقبل إلكترون في الحال لكي يملأ الفجوة الذي بدوره يولد فجوة أخرى تملأ من قبل إلكترون آخر وبذلك يتكون ما يمكن اعتباره نمطاً لنقل الشـحنات الكهربائية وبذلك يصـبح الحديث عن هذه الفجوات

بدلاً من الإلكترونات المنتقلة واعتبارها كشـــحنات مماثلة للإلكترونات لكنها تحمل شـــحنة موجبة. وعليه فإن بلورة الجرمانيوم المحتوية على الألمنيوم كعنصر شائب تعتبر مادة نصف موصلة من النوع الموجب (P-type).

ملاحظات مهمة:

علاقة المواد الثلاثة بطبيعة الذرة

* ترتبط الإلكترونات بالنواة بسبب الجذب الكهربائي بينها وبين النواة.
* لا تتواجد إلكترونات بين المدرات.
* تميل الذرة أن يكون مدارها الخارجي مشبعاً بالإلكترونات لتصبح أكثر استقراراً.
* تفقد الذرة إلكترون أو أكثر إذا اكتسبت طاقة كافية لتحرير إلكترون متغلباً على قوة جذب النواة له.
* تحتاج المادة الموصلة إلى طاقة قليلة جداً لتفقد عدد من إلكتروناتها.
* تحتاج المادة العازلة إلى طاقة عالية جداً لتفقد عدد من إلكتروناتها.
* تحتاج المادة شبه الموصلة إلى طاقة أكثر بقليل من المادة الموصلة ليتحرر إلكترونها.

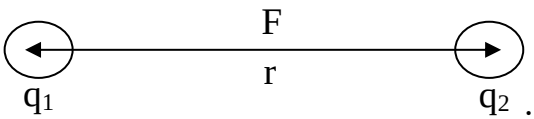
3-1 قانون كولوم Coulomb's Law

ينطبق قانون كولوم على:

1. الشحنات الصغيرة جداً (الشحنات النقطية)
2. الأجسام الكروية المشحونة والتي يمكن تحديد مركز الشحنات فيها.

ويمكن أن تعرف الشحنات النقطية (Point Charge):

هي تلك الشحنات التي تكون أبعادها صغيرة جداً مقارنة بالمسافة الفاصلة بينها.



وحيث أن هنالك قوة بين الشحنات فإن:

1. هذه القوة تتناسب عكسياً مع مربع المسافة بين الشحنتين أي أن:

$$F \propto \frac{1}{r^2}$$

2. هذه القوة تتناسب طردياً مع حاصل ضرب الشحنتين.

$$F \propto q_1 q_2$$

وبذلك ينص ***قانون كولوم*** على أنه:

تتناسب القوة بين شحنتين طردياً مع حاصل ضربهما وعكسياً مع مربع المسافة بينهما. وبذلك نحصل على:

$$F \propto \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$$F = K \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$$\because K = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o} \quad \text{(ثابت التناسب)}$$

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

ووفق النظام المتري (m.Kg.sec)

ε_o = Permittivity Constant ثابت السماحية

$= 8.85 \times 10^{-12}\ C^2/N.m^2$ (للفراغ)

$$K = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o} = 9 \times 10^9\ N.m^2/C^2$$

حيث أن

وحدات q_1، q_2 = C كولوم

وحدات المسافة r = m متر

وحدات القوة F = N نيوتن

∴ تصبح المعادلة:

$$F = 9 \times 10^9 \quad \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

وهذه المعادلة تشابه قانون الجذب العام بين جسمين:

$$F = G \quad \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

إلا أن الفرق هو

* قوة الجذب دائماً قوة تجاذب لأن قيمة الكتل موجبة دائماً.

* ثابت الجذب العام $G = 6.7 \times 10^{-11}\ N.m^2/Kg^2$.

ملاحظات مهمة جداً:-

1. بالنسبة للأجسام الموصلة المعزولة فإن الشحنات تستقر على سطوحها.
2. وحدات الشحنة الكولوم أو مايكروكولوم

كولوم 10^{-6} = مايكروكولوم

ويمكن أن يعرف التيار على أنه: ***كمية الشحنة المادة خلال مقطع عرضي للسلك في الثانية الواحدة، فإذا كانت قيمة التيار المار في السلك أمبير واحد فإن الشحنة تساوي كولوم واحد.***

أي أن: $q = i\,t$

$$\therefore i = \frac{q}{t} = \frac{C}{sec} = amp.$$

3. الصيغة الاتجاهية لقانون كولوم

$$\bar{F} = K \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r}$$

حيث أن $\hat{r}$:

متجه مقداره واحد واتجاهه من q_1 إلى q_2 ويسمى وحدة المتجه (Unit Vector)

4.

* إذا كان الوسط الفاصل بين الشحنتين هو الفراغ فإن K

$$K = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}$$

ε_o = ثابت سماحية الفراغ

* إذا كان الوسط الفاصل بين الشحنتين ليس فراغاً فإن:

$$K = \frac{1}{4\pi\varepsilon}$$

ε = ثابت سماحية الوسط العازل

5. ثابت العزل K هو معامل النفوذية النسبي

$$K = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_o}$$

K = 1 للهواء أو الفراغ
تتراوح قيمة K من (1-10) لمعظم المواد

مثال (1)
ما مقدار قوة التنافر بين بروتونين في نواة ذرة الحديد علماً أن المسافة الفاصلة بينهما هي (4×10^{-15} m)

$$F = \frac{Kq_1q_2}{r^2} = \frac{9\times10^9 \times 1.6\times10^{-19} \times 1.6\times10^{-19}}{(4\times10^{-15})^2} = 14\ N$$ نيوتن

في هذا يتبين أن قوة التنافر بين البروتونات داخل النواة هي قوة هائلة.

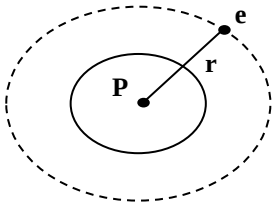
مثال (2)
في عام (1913) وضـــع العالم بوهر نظريته المشـــهورة لذرة الهيدروجين وقال بأنها تتكون من نواة تحتوي على بروتون واحد يدور حولها إلكترون واحد في مســـار دائري. قارن بين قوة الجذب الكهربائية وبين قوة الجذب الكتلي بين الإلكترون والنواة، علماً أن نصف قطر الدوران يساوي (5.3×10^{-11} m).

1. قوة الجذب الكهربائية (F_e) يمكن إيجادها من قانون كولوم

$$F_e = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o} \times \frac{q_1q_2}{r^2} = \frac{Kq_1q_2}{r^2}$$

$$F_e = \frac{9\times10^9 \times 1.6\times10^{-19} \times 1.6\times10^{-19}}{(5.3\times10^{-11})^2}$$

$F_e = 8.2 \times 10^{-8}$ N



2. قوة الجذب الكتلي يمكن إيجادها من قانون نيوتن في الجذب العام

$$F_g = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$$

m_1 = كتلة الإلكترون
m_2 = كتلة البروتون

$$\therefore F_g = \frac{6.7\times10^{-11} \times 9.1\times10^{-31} \times 1.7\times10^{-27}}{(5.3\times10^{-11})^2} = 3.7\times10^{-47}\ \text{N}$$

$$\therefore \frac{F_e}{F_g} = \frac{8.2 \times 10^{-8}}{3.7 \times 10^{-47}} = 2.2 \times 10^{39}$$

∴ القوة الكهربائية أكبر من قوة الجذب الكتلي بحوالي (2×10^{39}) مرة

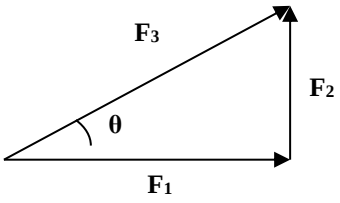
$F_e >>> F_g$

∴ القوى الكهربائية هي القوى التي لها شأن أكبر في عالم الذرة.

ملاحظة

لحل مسائل القوى بطريقة المتجهات:

1. جمع المتجهات



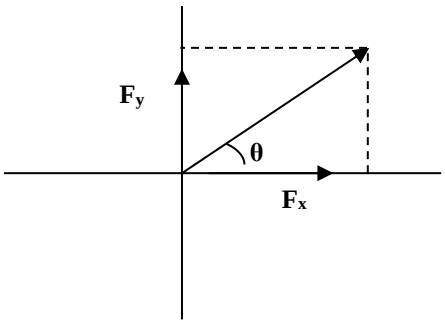
$$\overline{F} = \overline{F_1} + \overline{F_2}$$

$$F = \sqrt{F_1 + F_2}$$

$$\tan\theta = \frac{F_2}{F_1}$$

$$\therefore \theta = \tan^{-1}\frac{F_2}{F_1}$$

2. تحليل المتجهات



$$F_x = F\cos\theta$$

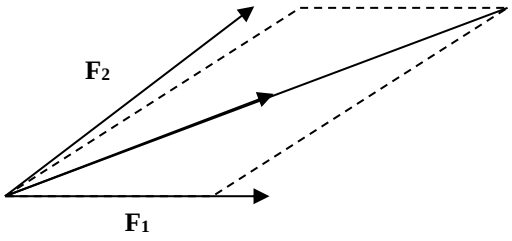
$$F_y = F\sin\theta$$

$$\overline{F} = \overline{F_x} + \overline{F_y}$$

$$F = \left|\overline{F}\right| = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

$$\theta = \tan^{-1}\frac{F_y}{F_x}$$

3. قانون الجيب تمام



$$F^2 = F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\theta$$

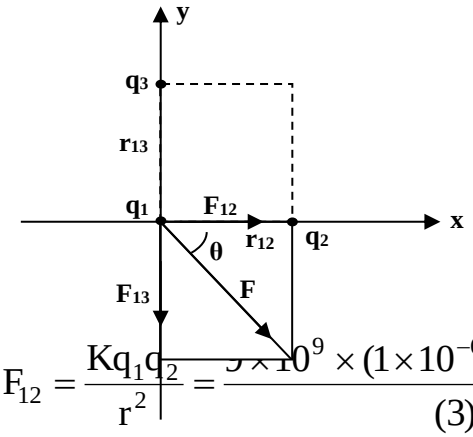
$$\sqrt{F = F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\theta}$$

مثال (3)

يبين الشكل المجاور ثلاث شحنات نقطية q_1، q_2، q_3. احسب القوة المؤثرة على الشحنة q_1 علماً أن:

$q_1 = +1.0 \times 10^{-6}$ C, $q_2 = -3.6 \times 10^{-6}$ C, $q_3 = +4.8 \times 10^{-6}$ C

$r_{13} = 4$ m, $r_{12} = 3$ m



F_{12} = القوة المؤثرة على الشحنة q_1 من قبل الشحنة q_2 وهي قوة تجاذب.

F_{13} = القوة المؤثرة على الشحنة q_1 من قبل الشحنة q_3 وهي قوة تنافر.

من قانون كولوم يمكن إيجاد قيمة F_{12} و F_{13}

$$F_{12} = \frac{Kq_1q_2}{r^2} = \frac{9\times10^9 \times (1\times10^{-6}) \times (3.6\times10^{-6})}{(3)^2} = 36\times10^{-4} \text{ N}$$

$$F_{13} = \frac{Kq_1q_3}{r^2} = \frac{9\times10^9 \times (1\times10^{-6}) \times (4.8\times10^{-6})}{(4)^2} = 27\times10^{-4} \text{ N}$$

إن القوة الكلية التي تؤثر على الشحنة q_1 هي المجموع الاتجاهي لكلا القوتين

ولما كانت F_{12}، F_{13} متعامدتين فمقدار محصلتهما يساوي $\overline{F} = \overline{F_{12}} + \overline{F_{13}}$

$$F = \sqrt{(F_{12})^2 + (F_{13})^2} = 45\times10^{-4} \text{ N}$$

أما اتجاه F فيمكن تعيينه من حساب الزاوية θ المبينة في الرسم

$$\tan\theta = \frac{F_{13}}{F_{12}} = \frac{27\times10^{-4}}{36\times10^{-4}} = 0.75$$

$$\therefore \theta = 36.9^\circ$$

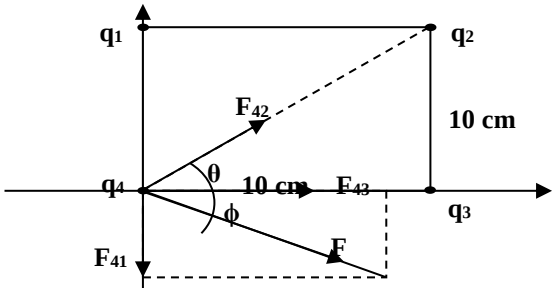
مثال (4)

احسب محصلة القوى التي تؤثر على الشحنة q_4 كما مبين في الشكل المجاور علماً بأن:

$q_1 = +1\times10^{-6}$ C, $q_2 = -1\times10^{-6}$ C, $q_3 = -2\times10^{-6}$ C, $q_4 = +2\times10^{-6}$ C

r = 10 cm

نحدد اتجاهات القوى الثلاث F_{41}, F_{42}, F_{43} التي تؤثر على الشحنة q_4 من قبل الشحنات q_1، q_2، q_3 وباستخدام قانون كولوم يمكن إيجاد مقاديرها



$$F_{41} = \frac{Kq_1q_4}{r^2} = \frac{9\times10^9\times2\times10^{-6}\times1\times10^{-6}}{(10\times10^{-2})^2} = 1.8\ \text{N}$$

$$F_{42} = \frac{Kq_2q_4}{r^2} = \frac{9\times10^9\times2\times10^{-6}\times1\times10^{-6}}{(10\sqrt{2}\times10^{-2})^2} = 0.9\ N$$

$$F_{43} = \frac{Kq_3q_4}{r^2} = \frac{9\times10^9\times2\times10^{-6}\times2\times10^{-6}}{(10\times10^{-2})^2} = 3.6\ \text{N}$$

أما محصلة هذه القوى الثلاث فتساوي المجموع الاتجاهي لها

$$\overline{F} = \overline{F_{41}} + \overline{F_{42}} + \overline{F_{43}}$$

ولحساب مقدار المحصلة نجد أولاً مجموع المركبات الأفقية (F_x) للقوى الثلاث

$F_x = F_{43} + F_{42}\cos\theta$

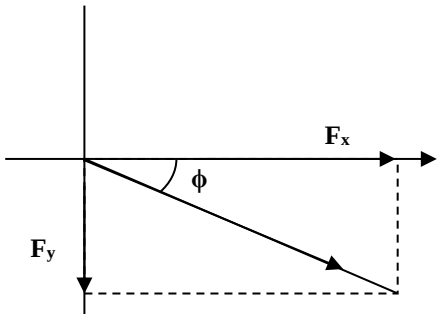
$F_x = 3.6 + 0.9\cos 45° = 4.2$ N

ثم نجد مجموع المركبات العمودية (F_y)

$F_y = F_{42}\sin\theta - F_{41}$

$F_y = 0.9\sin 45° - 1.8 = -1.2$ N

إن إشارة السالب تعني أن تجاه (F_y) يكون نحو الأسفل أي اتجاه السالب لمحور (y).



$$F = \sqrt{F_x^{\,2} + F_y^{\,2}}$$

$F = 4.4$ N

ولتعيين اتجاه القوة المحصلة نحسب الزاوية التي تصنعها F مع محور-x

$$\tan\phi = \frac{F_y}{F_x} = \frac{1.2}{4.2} = 0.29$$

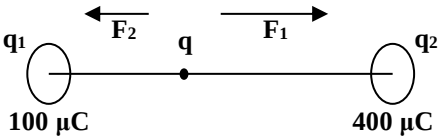
$$\therefore \phi = 16$$

مثال (5)

جسمان صغيران يحملان شحنتين مقدارهما (100 μC) (400 μC) وضعا على بعد (6 cm)، في أي نقطة على الخط الواصل بينهما يجب أن يوضع جسم آخر يحمل شحنة مقدارها (q) بحيث تكون القوة المؤثرة على هذه الشحنة صفراً.

نفرض بعد النقطة الواجب وضع الشحنة (q) فيها لكي تكون محصلة القوى المؤثرة عليها = صفر على بعد (x) من الشحنة q_1.

بعد q عن q_2 = 6 - x



$$F_1 = \frac{Kq_1q}{x^2}$$

$$F_2 = \frac{Kq_2q}{(6-x)^2}$$

بما أن محصلة القوى المؤثرة على q تساوي صفر

$$\therefore F_1 = F_2$$

$$\frac{Kq_1q}{x^2} = \frac{Kq_2q}{(6-x)^2}$$

$$\therefore \frac{q_1}{x^2} = \frac{q_2}{(6-x)^2}$$

$$\frac{100}{x^2} = \frac{400}{(6-x)^2}$$ بأخذ الجذر التربيعي لطرفي المعادلة

$$\frac{10}{x} = \frac{20}{(6-x)}$$

2x = 6 - x

3x = 6

$\therefore$ x = 2 cm

مثال (6)

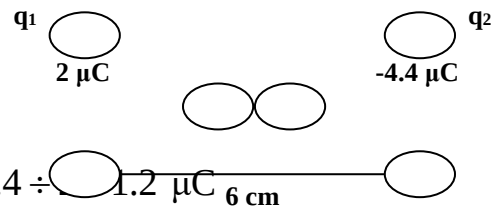
كرتان معدنيتان تحملان شحنتين مقدارهما (2 μC+) و (4.4 μC-). جلبت إحداهما لكي تلامس الأخرى ثم وضعتا على مسافة قدرها (6 cm). ما مقدار القوة الكهروستاتيكية العاملة فيهما وهل هي قوة تجاذب أم تنافر؟

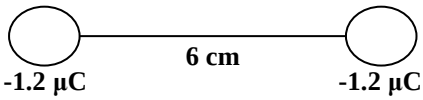
+2 - 4.4 = -2.4 μC

الشحنة المتبقية بعد التلامس

هذه الشحنة تتوزع على الكرتين بصورة متساوية

$\therefore$ مقدار الشحنة على كل كرة بعد التلامس يساوي



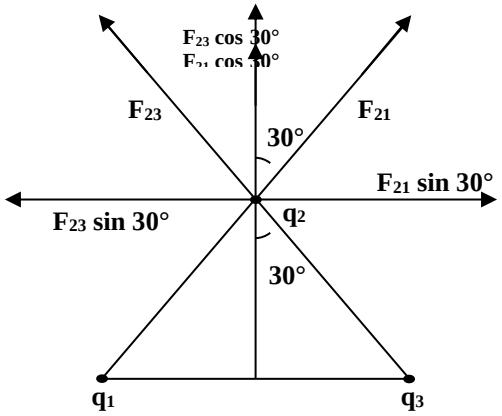


$$\therefore F = \frac{Kq_1q_2}{x^2}$$

$$F = \frac{9\times10^9 \times 1.2\times10^{-6} \times 1.2\times10^{-6}}{(6\times10^{-2})^2}$$

وهي قوة تنافر كون الشحنتين تحملان شحنة سالبة F = 3.6 N

مثال (7) وضعت ثلاث شحنات نقطية مقدار كل منها (q C) على رؤوس مثلث متساوي الأضلاع. احسب القوة التي تؤثر على كل شحنة إذا علمت أن طول ضلع المثلث يساوي (10 cm).



القوة المؤثرة على الشحنة q_2 من قبل q_1 و q_3 (F_{21}، F_{23}) متساويتان لأن الشحنات متساوية والمسافات متساوية.

$$\therefore F_{21} = F_{23} = \frac{Kq^2}{r^2}$$

ولحساب مقدار محصلة هاتين القوتين نجد مجموع المركبات الأفقية F_x والمركبات العمودية F_y:

$$F_y = F_{21}\cos 30° + F_{23}\cos 30° = 2F_{23}\cos 30°$$

$$F_x = F_{21}\sin 30° - F_{23}\sin 30° = 0$$

$$\therefore F = F_y = \frac{2\times 9\times 10^9 \times q^2}{(10\times 10^{-2})^2} * \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\therefore F = (15.6\times 10^7\ q^2)\ N$$

واتجاهها باتجاه محور y الموجب.

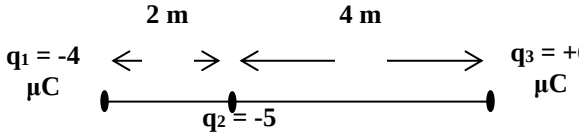
أسئلة عامة عن الفصل الأول

س1: عند رؤوس مثلث متساوي الأضلاع (a, b, c) طول ضلعه (30 cm) وضعت شحنات نقطية متماثلة قيمتها (q = 1.5 μC)، احسب:

أ. مقدار واتجاه القوة المؤثرة على الشحنة في الرأس (a).

ب. ما قيمة وموقع شحنة رابعة تجعل المجموعة متزنة ميكانيكياً؟

س2: احسب القوة المؤثرة على q_2 والمبينة في الشكل



س3: وضعت ثلاث شحنات قيمة كل منها (20 μC) على طول خط مستقيم حيث تكون المسافة الفاصلة بين كل شحنتين متتاليتين (2 m). احسب القوة المؤثرة على الشحنة الواقعة أقصى اليمين.

س4: وضعت ثلاث شحنات نقطية على المحور (x) عند النقاط التالية:

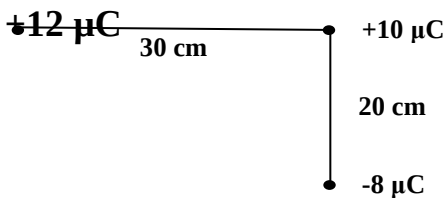
$x_o = 0$ عند +2 μC

x = 40 cm عند -3 μC

x = 120 cm عند -5 μC

احسب القوة المؤثرة على الشحنة (-3 μC).

س5: احسب مقدار واتجاه القوة المؤثرة على الشحنة (+10 μC) في الشكل المبين:

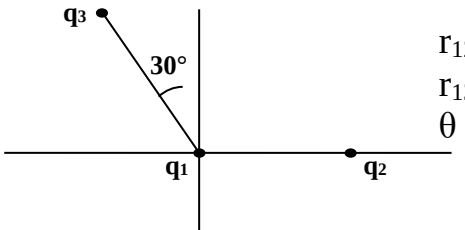


س6: ثبتت أربع شحنات نقطية q+، 2q+، 2q-، q- عند رؤس مربع طول ضلعه ($\alpha = 5$ cm)، فإذا كانت قيمة $q = 1 \times 10^{-8}$ C، احسب القوة الكهروستاتيكية عند الرأس الذي شحنته (2q+).

س7: كرتان مشحونتان بشحنتين موجبتين المسافة بينهما (2 m) وقوة التنافر بينهما (1.0 N)، فإذا كان مجموع الشحنتين (50 μC)، ما مقدار كل شحنة؟

س8: كرتان صغيرتان معلقتان كما في الشكل المجاور، كتلة كل منهما ($m = 5$ g) بخيطين طول كل منهما (1 m). ما مقدار الشحنة (q) التي يجب أن تشحن بها كل من الكرتين حتى تصبح زاوية الانفراج بين الخيطين ($\theta =$ 20°)؟

س9: في الشكل المبين، إذا كانت:



$r_{12} = 15$ cm $\quad q_1 = -1.0 \times 10^{-6}$ C

$r_{13} = 10$ cm $\quad q_2 = +3 \times 10^{-6}$ C

$\theta = 30°$ $\quad q_3 = -2 \times 10^{-6}$ C

احسب مقدار واتجاه القوة التي تؤثر على q_1.

س10: وضعت أربع شحنات نقطية شحنة كل واحدة (3+ μC) على رؤوس مربع طول ضلعه (40 cm)، أوجد القوة المؤثرة في أي من هذه الشحنات.

س11: شحنتان نقطيتان (q_1، q_2) تفصل بينهما مسافة قدرها (3 m) والشحنة الكلية المشتركة لهما تساوي (20 μC):

أ. احسب كل من الشحنتين، إذا علمت أن كل منهما تتنافر مع الأخرى بقوة مقدارها (0.075 N).

ب. إذا كانت القوة بين الشحنتين قوة تجاذب مقدارها (0.525 N)، فما قيمة كل من الشحنتين في هذه الحالة.

س12: كرتان معدنيتان صغيرتان متماثلتان تحملان الشحنتين (12- μC) و (3+ μC) تبلغ المسافة بينهما (3 cm)، احسب:

أ. قوة التجاذب بين الشحنتين.

ب. الشحنة بعد تلامس الكرتين مع بعضهما ثم ابتعادهما مسافة (3 cm) عن بعضهما.

حل السؤال الأول من المجموعة

أ.

$$F_{21} = \frac{Kq_1q_2}{r^2}$$

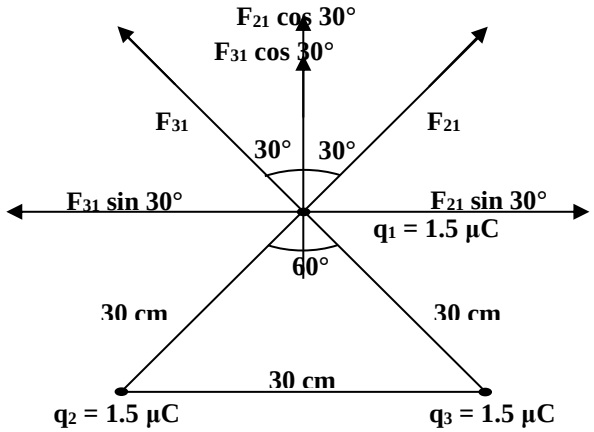
$$F_{21} = \frac{9\times10^9 \times (1.5\times10^{-6}) \times (1.5\times10^{-6})}{(30\times10^{-2})^2}$$

$F_{21} = F_{31} = (0.22)$ N

$F_x = F_{21} \sin 30° - F_{31} \sin 30° = 0$

$F_y = F_{21} \cos 30° + F_{31} \cos 30° = 2F_{31} \cos 30°$

$$F_y = 2\times0.22\times\frac{\sqrt{3}}{2} = 0.39 \text{ N}$$



اتجاه القوة هذه باتجاه محور y الموجب

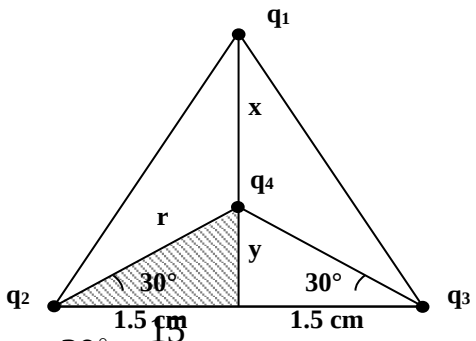
ب. بما أن المجموعة متزنة

∴ مجموع القوة المؤثرة عليها يساوي صفر.

∴ تكون هذه القوى متساوية.

وتكون هذه القوى متساوية إذا كانت الشحنات متساوية والمسافات بين الشحنات والشحنة الرابعة متساوية أيضاً. ولكي يتحقق هذا الشرط

∴ يجب أن تكون (q_4) في مركز المثلث



$$\cos 30^\circ = \frac{15}{r}$$

$$\therefore r = \frac{15}{\cos 30^\circ} = \frac{30}{\sqrt{3}}$$

$$r = 10\sqrt{3} = 17.3 \text{ cm}$$

$$0.394 = F = \frac{Kq_1q_4}{r^2} = \frac{9\times10^9 \times 1.5\times10^{-6} \times q_4}{(17.3\times10^{-2})^2}$$

$$\therefore q_4 = 0.86 \text{ C}$$