الأستاذ / أحمد بن سعيد الشعيلي

afdm.com

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

الوحدة الرابعة

٨٢

القوى والمجالات
Forces and Fields

الفصل السابع: القوى والمجالات الكهربائية Forces And Electric Fields ٨٤

(٧-١) الكهرباء الساكنة Static Electricity ٨٦

(٧-٢) خصائص الشحنات الكهربائية Characteristics of Electric Charges ٨٧

(٧-٣) المواد الموصلة والمواد العازلة Conductors and Insulators ٨٩

(٧-٤) طرق نقل الشحنات الكهربائية Methods of Transferring Electric Charges ٩١

الاستكشاف (١): اختبار البالون ٩٤

الاستكشاف (٢): انحناء الماء ٩٥

(٧-٥) مولد الكهرباء الساكنة Static Electricity Generator ٩٨

(٧-٦) القوى الكهربائية Electric Forces ٩٩

(٧-٧) المجالات الكهربائية Electric Fields ١٠٤

(٧-٨) طاقة الوضع الكهربائية Electric Potential Energy ١١١

(٧-٩) فرق الجهد الكهربائي Electric Potential Difference ١١٩

(٧-١٠) التيار الكهربائي Electric Current ١٢٠

أسئلة الفصل ١٢٣

afidni.com

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

الوحدة الرابعة

القوى والمجالات

Forces and Fields

الفصل السابع :

القوى والمجالات الكهربائية

Electric Forces and Fields

الفصل الثامن :

القوى والمجالات المغناطيسية

Magnetic Forces and Fields

afidn.com

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

afidni.com

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

الفصل السابع : القوى والمجالات الكهربائية

Forces and Electric Fields

مقدمة :

إن دراسة الشحنات والمجالات الكهربائية شيء أساسي لفهم العالم من حولك. من الممكن أن تكون قد أحسست بانتقال الشحنات الكهربائية إلى جسمك خلال فصل الشتاء، كما قد تكون قد شاهدت مثل هذا الانتقال عند رؤيتك للمشهد المثير للبرق.

afrosi.com

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

الموضوعات الرئيسة

* الكهرباء الساكنة
* خصائص الشحنات الكهربائية
* المواد الموصلة والمواد العازلة
* طرق نقل الشحنات الكهربائية
* مولد الكهرباء الساكنة
* القوى الكهربائية
* المجالات الكهربائية
* طاقة الوضع الكهربائية
* فرق الجهد الكهربائي
* التيارالكهربائي

afidni.com

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

مصطلحات علمية جديدة

* سلسلة الدلك الكهربائية	*Triboelectric Series*
* القوى الكهربائية	*Electrical Forces*
* قانون كولومب	*Coulomb's Law*
* المجالات الكهربائية	*Electric Fields*
* شدة المجال الكهربائي	*Electric Field Intensity*
* طاقة الوضع الكهربائية	*Electric Potential Energy*
* فرق الجهد الكهربائي	*Electric Potential Difference*

afidni.com

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

٧–١ الكهرباء الساكنة Static Electricity

من الممكن أن تكون قد مشيت حافي القدمين على سجادة لتلحق جرس الباب، وعند لمسك لمقبض الباب تشعر بوخز كهربائي! الشكل (٧–١).

الشكل (٧–١)

أو تدخل إلى المنزل قادماً من الجو البارد في الخارج وتخلع قبعتك فتفاجأ بأن يقف شعر رأسك . شكل (٧–٢) . ما الذي يحدث ؟ ولماذا يحدث في فصل الشتاء ؟

الشكل (٧–٢)

الجواب : إنها الكهرباء الساكنة

وحتى نفهم الكهرباء الساكنة، يجب أن نتطرق قليلاً إلى طبيعة المواد المحيطة بنا.

afidni.com

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

ما مصدر الشحنات الكهربائية؟

لقد تعرفت في دراستك السابقة على أن المواد تتكون من عددٍ كبيرٍ جداً من الجزيئات، وكل جزيء يتكون من ذرة واحدة أو عدة ذرات. ومن خلال دراستك لتركيب الذرة ، عرفت أنها تتكون من نواة موجبة الشحنة وإلكترونات سالبة الشحنة. وأن النواة تتكون من نيوترونات ليس لها شحنة وبروتونات موجبة الشحنة. الشكل (٧–٣).

الشكل (٧–٣)

إن قيمة شحنة البروتون الواحد تساوي قيمة شحنة الإلكترون الواحد ، ولذلك عندما يكون عدد الإلكترونات في الذرة مساوياً لعدد البروتونات، تكون الذرة متعادلة كهربائيا.

afidni.com

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

إن البروتونات والنيوترونات تكون مرتبطة ببعضها بإحكام داخل النواة، وفي العادة لا يحدث تغيير للنواة. ولكن بعض الإلكترونات الخارجية يكون ارتباطها ضعيفاً بالنواة وتستطيع هذه الإلكترونات الانتقال من ذرة إلى أخرى. إن الذرات التي تفقد إلكترونات تصبح مشحونة بشحنة موجبة، أما الذرات التي تكتسب إلكترونات فإنها تصبح مشحونة بشحنة سالبة. لماذا؟

ويبين الجدول التالي كتل وشحنة مكونات الذرة.

الجسيم	الكتلة (kg)	الشحنة (C)
الإلكترون (e) −	9.1×10^{-31}	-1.6×10^{-19}
البروتون (p) +	1.67×10^{-27}	1.6×10^{-19}
النيوترون (n)	1.674×10^{-27}	0

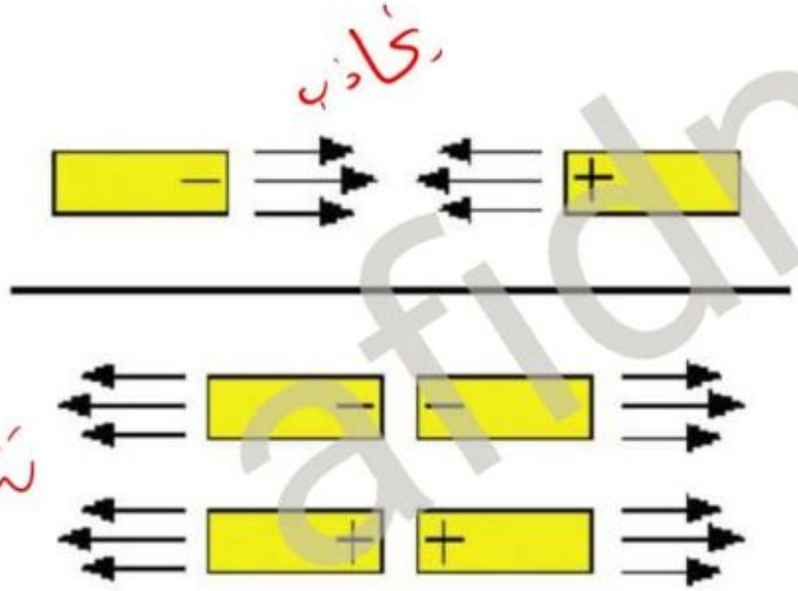
afidni.com

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

٧–٢ خصائص الشحنات الكهربائية Characteristics of Electric Charges

▪ الشحنات المتشابهة تتنافر والمختلفة تتجاذب :

إذا كان هناك جسمين مشحونين بشحنتين مختلفين (أحدهما موجب الشحنة والآخر سالب الشحنة) فإنهما يتجاذبان. أما الأجسام المشحونة بنفس الشحنة (شحنتين موجبتين أو شحنتين سالبتين) فإنها تتنافران كما في الشكل (٧–٤).

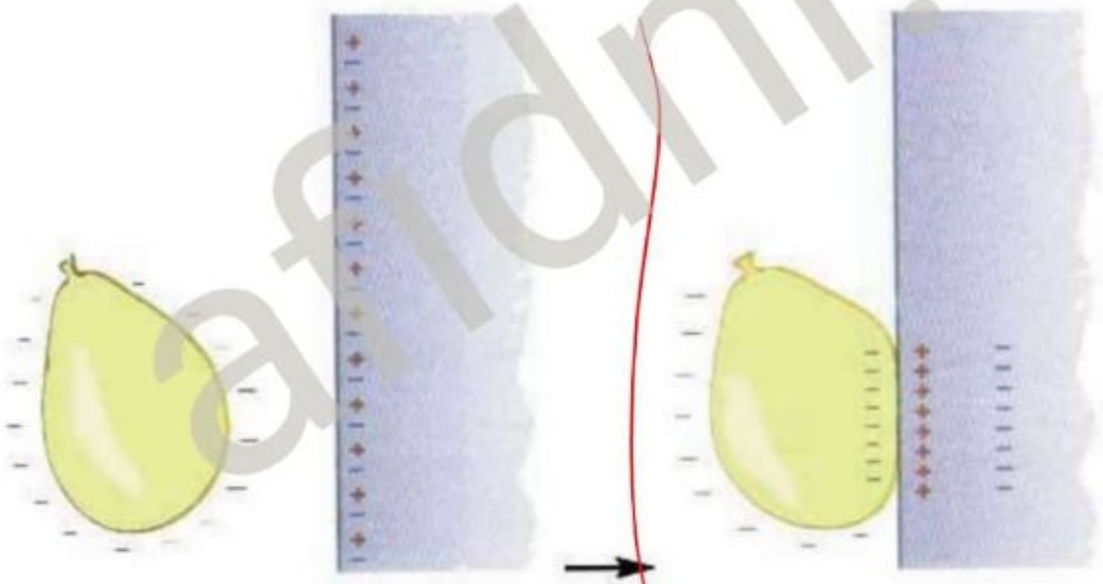


الشكل (٧–٤)

afidni.com

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

إن الأجسام المشحونة تستطيع أيضًا أن تجذب الأجسام غير مشحونة (المتعادلة). فكَّر في كيفية جعل بالون يلتصق بالجدار مثلاً، الشكل(٧– ٥). إذا قمت بشحن بالون عن طريق حكه بشعرك مثلاً، سوف يلتقط إلكترونات إضافية ويصبح سالب الشحنة، فإذا قمت بتعليقه بجانب الجدار سوف يجعل الشحنات في الجدار تتحرك؛ حيث تتحرك الإلكترونات إلى الطرف الآخر مبتعدة عن البالون أقصى مسافة تاركة عدد أكبر من الشحنات الموجبة قريبة من البالون السالب الشحنة، وبالتالي يحدث التجاذب ويلتصق البالون بالجدار (على الأقل حتى تتسرب الشحنات السالبة من البالون).



الشكل (٧–٥)

afidni.com

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

الشحنة كمية مكممة :

تتواجد الشاحنات الكهربائية في الاجسام المادية المختلفة بكميات مساوية لمضاعفات شحنة الالكترون، وبالتالي فإن أصغر شحنة يمكن الحصول عليها هي شحنة إلكترون مفرد وقيمتها $(1.6 \times 10^{-19}\ C)$ وعملية الدلك لشحن ساق من الزجاج هي عبارة عن انتقال لعدد صحيح من الشحنة السالبة إلى الساق.

ويمكن التعبير عن مقدار الشحنة كالتالي:

$$q = ne$$

حيث n : عدد صحيح؛ e : مقدار شحنة الإلكترون.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

الشحنة كمية محفوظة :

عندما نقوم بشحن أي جسم بكهرباء ساكنة، لا يمكننا أن نصنع الإلكترونات أو نلغيها. ولا يمكن أن تظهر بروتونات جديدة أو تختفي أخرى. إن ما يحدث للإلكترونات هو عملية انتقال من موضع إلى آخر، وبالتالي فإن محصلة أو مجموع الشحنات الكهربائية تبقى كما هي. وهذا ما يطلق عليه قانون حفظ الشحنة.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

اختبر فهمك ١

١ـ يقوم سعيد باستكشاف الشحنة الموجودة على عدد من الأجسام ، وكانت نتائج بحثه كالتالي:

الجسم C	الجسم D	الجسم E	الجسم F
يجذب الجسم B	يتنافر مع الجسم C	يجذب الجسم D	يجذب الجسم A
		يتنافر مع الجسم F	

يعلم سعيد أن الجسم A سالب الشحنة و الجسم B متعادل. فماذا يمكن لسعيد استنتاجه عن طبيعة الشحنات الموجودة على الأجسام F , E , D , C ؟ فسّر ذلك .

إجابة اختبر فهمك (١) :

F : موجب الشحنة ؛ لأنه يجذب الجسم A سالب الشحنة .

E : موجب الشحنة ؛ لأنه يتنافر مع الجسم F موجب الشحنة .

D : سالب الشحنة ؛ لأنه ينجذب إلى الجسم E موجب الشحنة .

C : سالب الشحنة ؛ لأنه يتنافر مع الجسم D سالب الشحنة .

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

تحتفظ بعض المواد بإلكتروناتها بصورة محكمة بحيث لا تستطيع هذه الإلكترونات التنقل بحرية بين ذرات هذه المواد. وهذه المواد تسمى **بالمواد العازلة** *insulators* ومن الأمثلة على هذا النوع من المواد : البلاستيك، والقماش، والزجاج، والهواء الجاف، والمطاط والماء المقطر.

وبعض المواد يوجد بها بعض الإلكترونات المرتبطة بشكل ضعيف معها؛ مما يجعلها قادرة على التنقل بحرية خلال ذرات المادة الواحدة، وهذه المواد تسمى **بالمواد الموصلة** *conductors* .

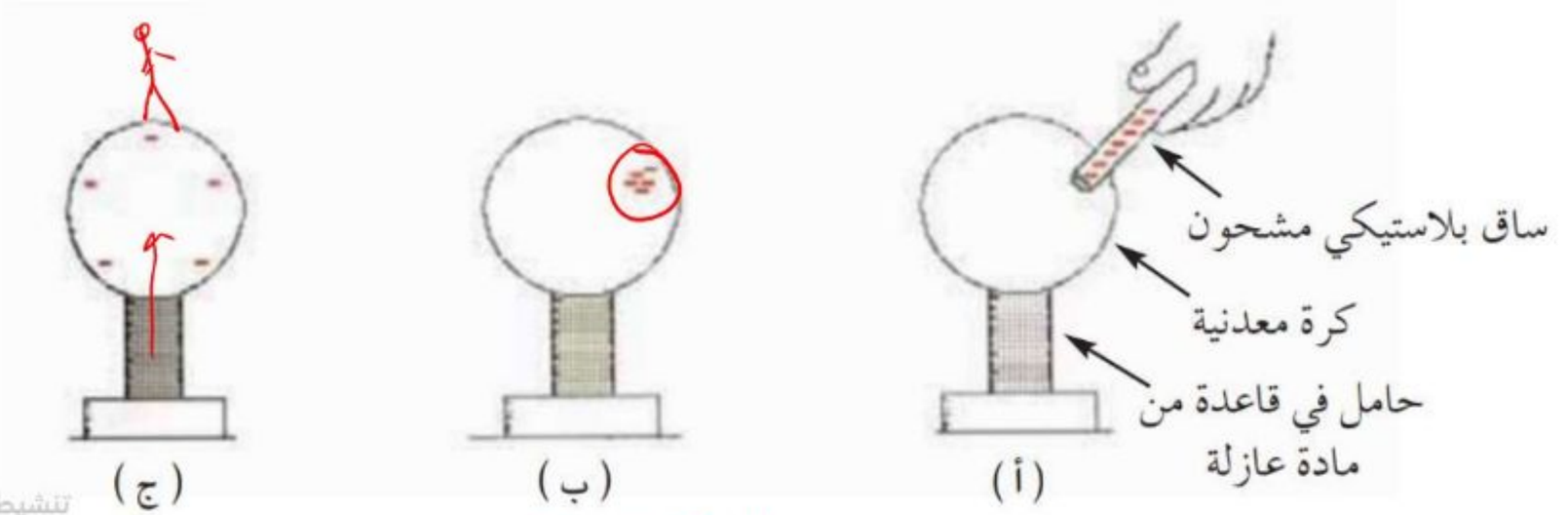
إن معظم المعادن هي أمثلة على هذا النوع من المواد. كذلك يعتبر الماء غير المقطر وجسم الإنسان

معلومة تهمك

هناك نوع ثالث من المواد تسمى مواد شبه موصلة *semiconductors* ، ومن أمثلتها السيلكون والجرمانيوم ويضاف إلى هذه المواد القليل من ذرات المواد الأخرى (شوائب) كالزرنيخ والفسفور في عملية تسمى بالتطعيم. وتستخدم هذه المواد في صناعة الرقائق الإلكترونية المستخدمة في الحاسوب والهاتف المحمول وغيرها من الأجهزة الإلكترونية.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

بما إن الموصلات تسمح للإلكترونات بحرية الحركة من ذرة إلى ذرة ومن جزيء إلى آخر، فإنها تسمح للشحنة بالتنقل خلال السطح الداخلي للجسم. وبالتالي عندما يتم شحن جسم مصنوع من مادة موصلة في موضع معين الشكل (٧–٦أ)، فإن تلك الشحنة ستتوزع بسرعة خلال الجسم، وتحاول الشحنات الإضافية الابتعاد قدر الإمكان عن بعضها بعضا وذلك للتقليل من قوى التنافر فيما بينها مما يؤدي إلى استقرار جميع الشحنات على سطح الجسم الموصل، كما هو موضح في الشكل (٧–٦ ج).



الشكل (٧–٦)

تنشيط Windows
انتقل إلى الإعدادات لتنشيط Windows.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

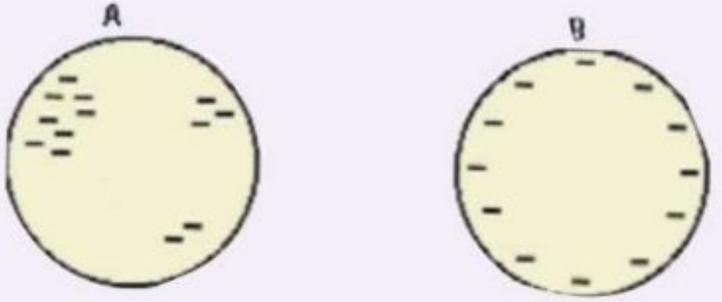
وإذا كان الموصل مجوفاً، فإن الشحنات المضافة ستتحرك إلى السطح الخارجي للموصل. ولذلك فإنه عند شحن أي صندوق أو إناء معدني مغلق، سوف لن تكون هناك شحنات داخل الإناء أو الصندوق. وإذا لامس الموصل المشحون جسمًا آخر، فان الموصل سينقل شحنته إلى ذلك الجسم.ويحدث ذلك بسهولة إذا كان الجسم الثاني مادة موصلة؛ لأن الموصلات تسمح بانتقال الشحنات من خلال حرية الحركة للالكترونات.

بالمقارنة مع الموصلات، فإن المواد العازلة لا تسمح بانتقال الإلكترونات من ذرة إلى أخرى ومن جزيء إلى آخر. فإذا تم شحن مادة عازلة في موضع معين، فإن الشحنات المضافة ستبقى في موقع الشحن الأساسي؛ ولذلك فمن النادر أن تتوزع الشحنة بالتساوي على سطح المادة العازلة.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

اختبر فهمك ٢

١- واحدة من الكرتين المشحونتين الموضحتين هي من النحاس والأخرى من المطاط . الشكل (٧-٧) يوضح توزيع الشحنات على سطح الكرتين. حدد على الرسم نوع كل كرة مع تدعيم إجابتك بالتفسير المناسب.



الشكل (٧-٧)

إجابة اختبر فهمك (٢):

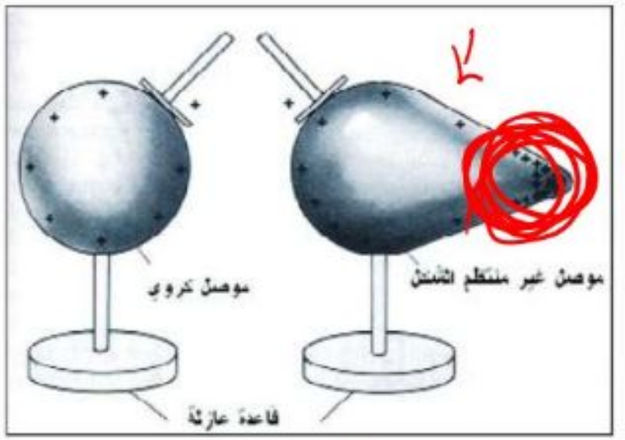
الإجابة : A من المطاط و B من النحاس، وذلك لأن الكرة A تظهر توزيعًا غير منتظمًا للشحنات الكهربائية الإضافية، وبالتالي فهي مصنوعة من مادة عازلة مثل المطاط. أما الكرة B فهي تظهر توزيعًا منتظمًا للشحنات الإضافية، وبالتالي فهي مصنوعة من مادة موصلة كالنحاس مثلاً.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

خلفية علمية : توزيع الشحنات على أسطح الموصلات.

يعتمد توزيع الشحنات على أسطح الموصلات على عاملين وهما: الشكل والتركيب. حيث تنتشر الشحنات في الموصلات مبتعدة عن بعضها بعضًا ؛ وذلك للتقليل من قوى التنافر فيما بينها مما يؤدي إلى تمركز هذه الشحنات على أسطح الموصلات الصلبة، فإذا كان الموصل مجوفًا فإن الشحنات المضافة ستنتقل إلى السطح الخارجي للموصل. على سبيل المثال : إذا قمت بشحن صندوق معدني مغلق فلن يكون هناك شحنات على الأسطح الداخلية للصندوق؛ وبهذه الطريقة يعمل الصندوق المعدني المغلق على حماية ما بداخله من المجالات الكهربائية الخارجية. ولهذا فإن الأشخاص داخل السيارة يكونون في مأمن من المجالات الكهربائية الناتجة من البرق.

كما يعتمد توزيع الشحنات على أسطح الموصلات أيضا على الشكل. حيث أظهرت نتائج التجارب أن كثافة الشحنات تكون أكبر عند الانحناءات الحادة؛ وبالتالي فإن الأسطح المستوية تكون فيها كثافة الشحنات قليلة مقارنة بالسطح المنحني، كما أن الشحنات تتركز على الزوايا والأطراف المدببة في الموصلات كما يوضحها الشكل (٧-٢).



الشكل (٧-٢)

ولهذا السبب، فإن مانعة الصواعق تكون عبارة عن ساق معدنية مدببة الأطراف حتى يكون المجال الكهربائي قويًا في نهاية الساق حيث تنجذب جزيئات الهواء بالقرب من الساق مشكلة بداية لمسار موصل من الساق إلى السحب . ونتيجة إلى الشكل المدبب والحاد للساق ، فإن الشحنات في السحب تكوّن شرارة مع الساق بدلا من أن تصيب البنايات العالية والمنازل ، ومن الساق فإن الموصل يأخذ الشحنات بأمان إلى الأرض.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

٧–٤ طرق نقل الشحنات الكهربائية Methods of Transferring Electric Charges

- **هناك عدة طرق لنقل الشحنات الكهربائية من أكثرها شيوعا :**

– الشحن بالاحتكاك (الدلك) :

والسؤال الآن : أي المادتين ستفقد الإلكترونات للأخرى عند احتكاكهما؟

إن ذلك يعتمد على قوة ارتباط الإلكترونات بنواة الذرة، والمواد تتفاوت في ميلها لفقد الإلكترونات، لذلك رتبت المواد من حيث ميلها لفقد الإلكترونات عند دلكها في سلسلة الدلك الكهربائية *triboelectric series* الموضحة في الشكل (٧–٨).

وهما : طريقة اللمس (التوصيل) ، وطريقة التأثير (الحث) .

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

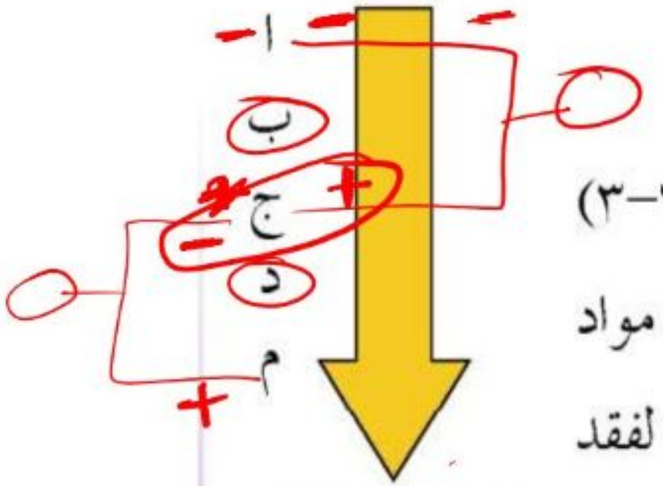
الشكل (٧-٨)

وفي هذه السلسلة يكون للمادة التي في الأعلى قابلية لفقد الإلكترونات أكبر من المادة التي تليها، وهذا يعني أن دلك أية مادة في السلسلة بمادة تحتها يكسبُ المادة العليا شحنة موجبة والسفلى شحنة سالبة، ولكن عند دلك مادتين قريبتين من بعضهما في السلسلة ، يكون مقدار الشحنة المتولدة قليلا ، فلا يظهر أثرها ، لذلك كلما كانت المادتان المدلوكتان أبعد عن بعضهما في السلسلة ، كان مقدار الشحنة المتولدة أكبر والأثر أوضح.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

أسئلة إضافية

١- يبين الشكل(٧-٣) ترتيب خمس مواد حسب قابليتها لفقد الإلكترونات.



الشكل (٧-٣)

معتمدًا على الشكل ، أجب عن الأسئلة الآتية :

أ) إذا دلكت المادة (ب) بالمادة (د)، أيهما ستشحن بشحنة موجبة؟

ب) ما المادتان اللتان تولدان أكبر كمية ممكنة من الشحنات عند دلكهما معًا؟

ج) إذا دُلك قضيب من المادة (ج) بالمادة (أ)، ودُلك قضيب آخر من المادة (ج) أيضا بالمادة (م)، ثم قرب القضيبان من بعضهما بعضًا، فهل يتنافران أم يتجاذبان؟ فسر إجابتك.

الإجابة :

أ) د

ب) أ و م

ج) يتجاذبان، عند دلك قضيب من المادة (ج) بالمادة (أ)، يشحن القضيب ج بشحنة موجبة، وعند دلك قضيب آخر من المادة (ج) أيضا بالمادة (م) يشحن بشحنة سالبة وعند تقريب القضيبان فإنهما يتجاذبان.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

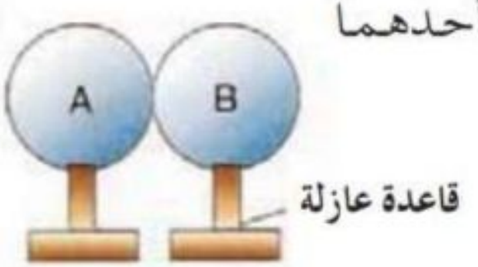
- **الشحن باللمس:** وهذه طريقة عملية لشحن المعادن وغيرها من الموصلات ، إذا لامس الجسم المشحون موصلاً، فإن بعض الشحنات ستنتقل من الجسم إلى الموصل ؛ مما يؤدي إلى شحن الموصل بنفس الشحنة.وإذا كان الجسمان متماثلان كما في الشكل (٧– ٩) ، فإنهما يصبحان مشحونين بشحنتين متساويتين في المقدار من النوع نفسه.

الشكل (٧–٩)

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

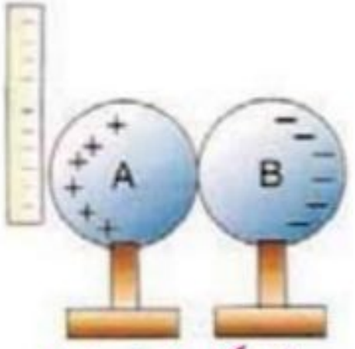
- **الشحن بالحث (بالتأثير)** : وهذه أيضًا طريقة عملية لشحن المعادن وغيرها من الموصلات، حيث يوضع الجسم المشحون هذه المرة قريبًا من الموصل فقط ولكن لا يلامسه. لشحن موصلين (كرتين معدنيتين) بشحنات متساوية في المقدار ومختلفة الإشارة، فإننا نتبع الخطوات الآتية :

١- يتم وضع الموصلين على قاعدتين عازلتين بحيث يلامس أحدهما الآخر، كما في الشكل (٧- ١٠).



الشكل (٧-١٠)

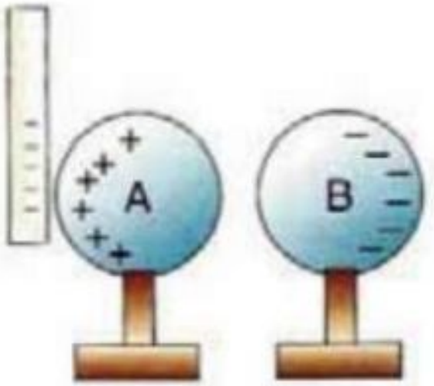
٢- يتم تقريب ساق مشحونة بشحنة سالبة بالقرب من الكرة A دون أن تلامسها، كما هو موضح في الشكل (٧- ١١) ؛ سيجعل هذا الإلكترونات في الكرة A تتنافر وتنتقل إلى الطرف الأبعد في الكرة B ، وهذا يؤدي إلى شحن الكرة A بشحنة موجبة والكرة B بشحنة



الشكل (٧-١١)

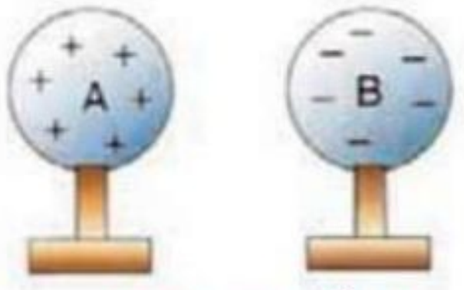
الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

٣- يتم فصل الكرتين عن بعضهما باستخدام القاعدة العازلة دون إبعاد الساق المشحونة، كما في الشكل (٧- ١٢).



الشكل (٧-١٢)

٤- عند إبعاد الساق المشحونة فإن الكرة A ستمتلك شحنات موجبة محتثة *induced positive charges* ، بينما ستمتلك الكرة B عددًا مساويًا من الشحنات السالبة المحتثة *induced negative charges*، كما يظهر في الشكل (٧- ١٣).



الشكل (٧-١٣)

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

اختبر فهمك ٣

١- عندما تقوم بدلك بالون بواسطة شعرك، ما نوع الشحنة التي سيكتسبها شعرك؟ ولماذا؟

٢- مر معك سابقًا أن دلك ساق من الزجاج بواسطة قطعة من الحرير يُكسب الزجاج شحنة موجبة، هل هذا يعني أنه لا يمكن شحن الساق الزجاجية بمادة أخرى؟ فسّر إجابتك.

٣- هل يمكنك شحن جسم من مادة عازلة (كرة بلاستيكية مثلاً) بالحث؟ فسّر إجابتك.

٤- ما الفرق بين طريقة الشحن باللمس وطريقة الشحن بالحث؟

الشحن بالحث (بالتأثير)	الشحن باللمس
يكون الجسمان قريبين من بعضهما بعضًا فقط دون أن يتلامسا .	يكون الجسمان متصلين ببعضهما بعضًا
يشحن الجسمان بشحنتين مختلفتين في النوع	يشحن الجسمان بنفس نوع الشحنة

١- سيكتسب الشعر شحنة موجبة؛ لأن موقعه أعلى من موقع المطاط (البالون) في سلسلة الدلك الكهربائية.

٢- يمكن شحن الساق الزجاجية بمادة أخرى تقع في أسفل مادة الزجاج في سلسلة الدلك الكهربائية، ولكن كمية الشحنة المتولدة على الساق ستكون قليلة لأن المواد قريبة من الزجاج في سلسلة الدلك، أما الحرير فإنه على مسافة بعيدة نسبيا من الزجاج لذا ستكون الشحنة المتولدة كبيرة ويمكن ملاحظة تأثيرها بصورة أكبر.

٣- لا يمكن شحن مادة عازلة بطريقة التأثير(الحث)، لأن المادة العازلة لا تسمح بحرية حركة الإلكترونات.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

الاستكشاف ١

اختبار البالونات

سؤال علمي : ما نوع القوى المتبادلة بين الشحنات الكهربائية ؟

- **التحليل والتفسير :**

١ـ ماذا حدث للبالونين في الخطوة ٣ ؟ فسّر إجابتك.

٢ـ ماذا حدث للبالونين في الخطوة ٤ ؟ فسّر إجابتك.

التحليل والتفسير:

١- يبتعد البالونان عن بعضهما بعضًا، لأنه عند دلك كل منهما بقطعة الصوف، فإنهما يكتسبان شحنة سالبة وبالتالي يتنافران.

٢- سيقترب البالونان من بعضهما بعضًا وذلك لأن الورقة متعادلة الشحنة؛ وبالتالي ستعمل الشحنات الموجبة في الورقة على جذب الشحنات السالبة في البالونين.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

الاستكشاف ٢

انحناء الماء

سؤال علمي : هل يمكن للأجسام المشحونة أن تؤثر على الأجسام المتعادلة ؟

التحليل والتفسير :

١ـ ما الشحنة التي اكتسبها المشط عندما دلكته بقطعة الصوف ؟ فسّر إجابتك.

٢ـ ماذا حدث للماء عندما قربت المشط منه؟ فسّر إجابتك.

التحليل والتفسير:

١- يشحن المشط بشحنة سالبة لأنه مصنوع من البلاستيك، وهو يقع أسفل الصوف في سلسلة الدلك الكهربائية.

٢- إن الماء المتعادل ينجذب إلى المشط المشحون ويتحرك باتجاهه.

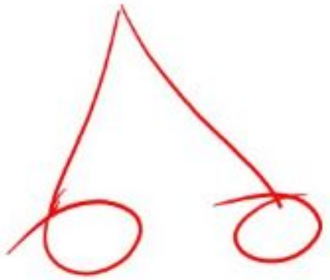
الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

أنشطة إضافية :

١) الحبوب المتأرجحة.

سؤال علمي : كيف تفسر قوى التجاذب والتنافر بين الأجسام المختلفة؟

المواد والأدوات : مشط من البلاستيك أو ساق من الأبونايت أو بالون - قطعة من الصوف – قطع صغيرة من الحبوب الجافة (ذات الأشكال الدائرية– الأرز ذو الحبة المنتفخة أو القمح).



الإجراءات:

– اربط قطع الحبوب بأحد طرفي الخيط، وثبت الطرف الآخر من الخيط بطرف الطاولة بحيث تكون الحبوب بعيدة عن أي شيء آخر.

– اغسل المشط جيدًا بالماء حتى تتخلص من الزيوت العالقة به ونشفه جيدًا.

– قم بشحن المشط بدلكه بقطعة الصوف أو بتسريح شعرك عدة مرات.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

- قرّب المشط المشحون ببطء من الحبوب ، سوف تتأرجح لتلمس المشط ، لا تحرك المشط حتى تنفلت الحبوب بنفسها.
- والآن حاول أن تقرب المشط إلى الحبوب مرة ثانية ، سوف تبتعد عن المشط حين يحاول الاقتراب منها.بماذا تفسر ذلك؟ ماذا حدث ؟
- عند احتكاك المشط بالشعر، فإن بعض الإلكترونات تنتقل إلى المشط فيصبح مشحونًا بشحنة سالبة وعند تقريبه من الحبوب غير المشحونة فإنها تنجذب إليه. وعند تلامسهما فإن الإلكترونات تنتقل ببطء من المشط إلى الحبوب فيصبحان مشحونين بنفس الشحنة (سالبة) وبالتالي يتنافران.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

التطبيقات الحياتية

للكهرباء الساكنة استخدامات عديدة في المنازل والمؤسسات والمصانع. فأجهزة النسخ التي نراها في المكاتب ، على سبيل المثال ، ناسخات كهروستاتية ، تصنع نسخًا من المادة المطبوعة أو المكتوبة بجذب جسيمات الحبر المسحوق إلى الورقة الموجبة الشحنة. وتستخدم الكهرباء الساكنة أيضًا في المنظفات الهوائية المسماة المرسّبات الكهروستاتية . فهذه المرسبات تشحن جسيمات الغبار والدخان والبكتيريا وحبوب اللقاح في الهواء بشحنات كهربائية موجبة ، وتعمل ألواح التجميع السالبة الشحنة على تنقية الهواء وذلك بجذب هذه الجسيمات الموجبة الشحنة إلى داخل المنظف.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

البرق Lightning

ينتج البرق عن الكهرباء الساكنة. فالعلماء يعتقدون أن قطرات المطر المحمولة في الغيوم تكوّن شحنات كهربائية، حيث تصبح أجزاء من السحاب مشحونة بشحنة موجبة، بينما تصبح أجزاء أخرى مشحونة بشحنة سالبة. وقد تقفز الشحنات بين أجزاء السحاب المختلفة، أو بين سحابة وأخرى أو من السحاب إلى الأرض، مما يؤدي إلى توليد الشرارة الكهربائية الضخمة التي نسميها البرق، كما هو موضح في الشكل (٧– ١٦) .

الشكل (٧–١٦)

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

■ تفريغ الشحنات الكهربائية :

بعد أن عرفت أن الأجسام المختلفة يمكن شحنها بعدة طرق. هل يمكن لهذه الأجسام التخلص من الشحنات الإضافية لتعود أجسامًا متعادلة ؟

يمكن إزالة الشحنات من الأجسام المشحونة سواء بشحنة موجبة أو سالبة بعملية تسمى التأريض. ففي هذه العملية يتم إزالة الشحنات عن طريق انتقال الإلكترونات بين الجسم المشحون وجسم آخر. إن الأرض ببساطة تعمل كمخزن لا متناهي للإلكترونات حيث يتم استقبال الإلكترونات من الجسم المشحون لمعادلة ذلك الجسم. وكل جسم يمكن أن يقوم بتفريغ شحناته إذا توفر مسار موصل بين الجسم والأرض .

التطبيقات الحياتية

التفريغ الكهربائي (الصاعقة الرعدية) يتم بين الغيمة المشحونة وأقرب جسم لها سواء أكان غيمة أخرى أو الأرض، ولهذا تضرب الصواعق عادة الأبنية العالية والأشجار الطويلة، ولحماية الأبنية المرتفعة من خطر الصواعق يتم تركيب ساق معدنية لها رأس مدبب في أعلى البناية ويكون متصلاً مع الأرض لتفريغ الشحنات.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

اختبر فهمك ٤

– إذا كنت في سيارة في منطقة مستوية من الأرض وبدأت العواصف الرعدية ، وأنت تعرف أن التفريغ الكهربائي يحدث بين الغيمة وأقرب جسم لها ، وبما أن المنطقة مستوية قد يحدث التفريغ الكهربائي معك وهذا أمر قاتل، ما أفضل طريقة لتحمي نفسك من صاعقة كهربائية؟

إجابة اختبر فهمك (٤) :

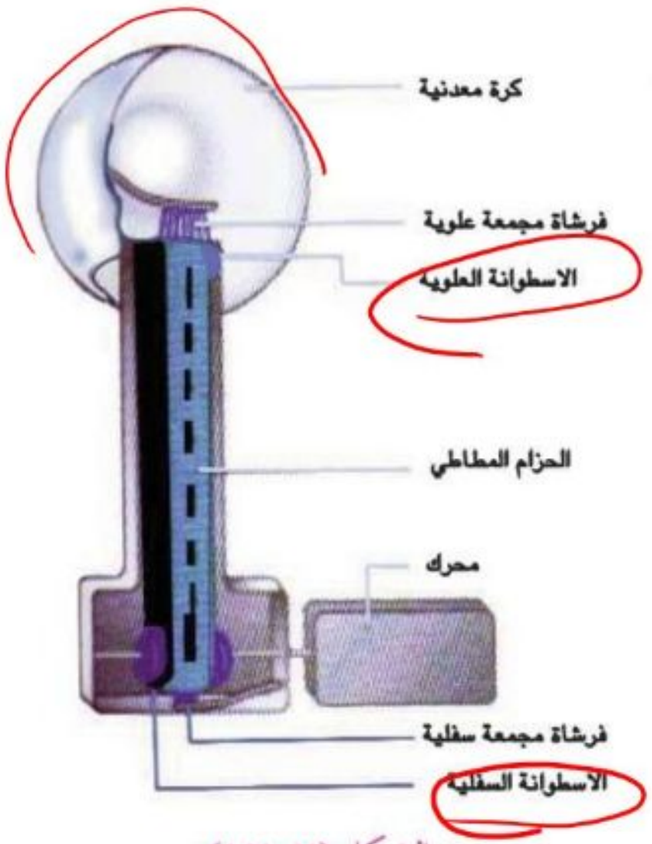
أن تجلس داخل السيارة لأنها عبارة عن صندوق مفرغ من الداخل؛ وبالتالي فإن الشحنات تستقر على السطح الخارجي للسيارة وتحمي ما بداخلها من المجالات الكهربائية.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

٧-٥ مولد الكهرباء الساكنة Static Electricity Generator

في عام ١٩٣١م اخترع العالم روبرت فان دي جراف جهازًا يستطيع توليد كمية هائلة من الشحنات الكهربائية الساكنة سمي مولد فان دي جراف.

يتكون الجهاز من حزام مطاطي يتحرك حول اسطوانتين (بكرتين): اسطوانة سفلية مصنوعة من مادة (تميل إلى فقدان إلكتروناتها)، واسطوانة علوية (تميل إلى اكتساب الإلكترونات). ويدور الحزام بواسطة محرك كهربائي. الشكل (٧-١٧).



الشكل (٧-١٧)

وإذا أردنا الحصول على شحنات موجبة من المولد فإننا نقوم بعكس موضعي الاسطوانتين العلوية والسفلية. وهكذا يمكن تخزين كمية هائلة من الشحنات الكهربائية في الكرة المعدنية حيث يمكن استخدام هذه الشحنات أثناء إجراء الاستكشافات والتجارب العلمية.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

٦-٧ القوى الكهربائية Electric Forces

لقد عرفنا أن هناك نوعين من القوى بين الشحنات إما قوة تجاذب أو قوة تنافر. ولكن هذا غير كافٍ إذ يجب معرفة العوامل التي تحدد مقدار القوة بين الشحنات.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

خلفية علمية : ميزان اللي:

استخدم كولومب جهازًا خاصًّا لقياس القوة الكهربائية الساكنة المتبادلة بين شحنتين سمي " **ميزان اللّي** " . و يتكون هذا الجهاز كما هو موضح في الشكل (٧–٥) من وعاء أسطواني مفرغ من الهواء ، يحتوي على ذراع خفيفة في نهايتها كرتين معدنيتين صغيرتين معلق من منتصفه بسلك رفيع في رأس الجهاز، وهذا الرأس قابل للدوران ، ومزودة بمؤشر لقياس زاوية دورانها . لقياس القوة الكهربائية المتبادلة بين الكرتين ، قام بشحن إحدى الكرات بشحنة كهربائية ، ثم قرب منهما كرة ثالثة مشحونة بذات شحنة

الشكل (٧–٥)

الكرة الأخيرة ، تتنافر الكرتان وهو ما يؤدي إلى التفاف السلك بزاوية معينة.

وبحساب القوة التي سببت التفاف السلك بتلك الزاوية، استطاع عندهـ حساب قوة التنافر الكهربائي التي أثرت في الأصل على السلك وأدت إلى التفافه.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

قانون كولومب Coulomb's Law

اهتم العالم كولومب في القرن الثامن عشر بدراسة العوامل المؤثرة على مقدار القوة الكهربائية المتبادلة بين جسمين مشحونين ، وقد استخدم جهازًا خاصًا لهذا الغرض سمي باسم "ميزان اللَّي" . وقد اتضح من خلال التجارب التي قام بها إن القوة الكهربائية بين جسمين مشحونين تمتلك الخصائص التالية :

- تتناسب القوة الكهربائية تناسبًا عكسيًا مع مربع المسافة الفاصلة بين مركز الجسمين المشحونين :

$$F \alpha \frac{1}{r^2} \quad (1)$$

- تتناسب القوة تناسبًا طرديًا مع حاصل ضرب قيمة شحنتي الجسمين :

$$F \alpha q_1 q_2 \quad (2)$$

- القوة تكون قوة تنافر إذا كانت الشحنتين متشابهتين وتكون قوة تجاذب إذا كانت الشحنتين مختلفتين .

وبدمج المعادلتين (١) و (٢) نحصل على:

$$F = k\frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (1-7)$$

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

$$= \frac{N \cdot m^2}{C^2}$$

$$= N \cdot m^2 \cdot C^{-2}$$

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

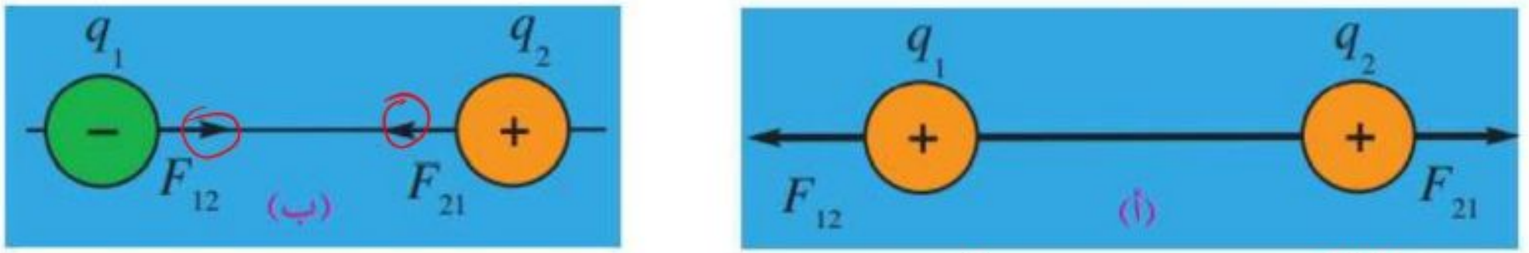
الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

حيث (k) مقدار ثابت يعرف بثابت كولومب ،تتوقف قيمته على الوحدات المستخدمة ، كما يعتمد على الوسط الذي توجد فيه الشحنات، فإذا استخدمت الوحدات الدولية للقياس، وكان الوسط هو الفراغ أو الهواء، فإن $k = 9 \times 10^{9}\ Nm^{2}C^{-2}$

وينص قانون كولومب على « يتناسب مقدار القوة المتبادلة بين شحنتين كهربائيتين تناسبًا طرديًا مع قيمة كل منهما، وعكسيًا مع مربع المسافة بينهما » .

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

١ـ القوى المتبادلة بين شحنتين كهربائيتين:



شكل الشكل (٧-١٨)

$$F_{21} = k\frac{q_2 q_1}{r^2}$$

$$F_{12} = k\frac{q_1 q_2}{r^2} = F_{21}$$

$F_{12} = F_{21}$

أي أن القوتين متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه (قانون نيوتن الثالث).

أما الحالة (ب) فإنها تمثل شحنتين مختلفتين، حيث القوة المتبادلة قوة تجاذب وهنا أيضا نتبع نفس الخطوات السابقة وتكون القوتان متساويتين في المقدار ومتعاكستين في الاتجاه أيضًا (قانون نيوتن الثالث).

$$\overrightarrow{F_{12}} = -\overrightarrow{F_{21}}$$

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

مثال (١) :

اكتسب بالون بعد دلكه بقطعة قماش قطنية شحنة مقدارها $-8.0\mu C$ ، ما القوة الكهربائية بين البالون والقماش إذا كانت المسافة الفاصلة بين مركز البالون وقطعة القماش $5 \times 10^{-2}\ m$ ؟

الحل :

من مبدأ حفظ الشحنة ، فإن قطعة القماش القطنية ستكتسب شحنة موجبة مساوية في المقدار لشحنة البالون ، وبالتالي فإن القوة الكهربائية المتبادلة بينها هي قوة تجاذب وتحسب كالتالي:

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

$$= 9 \times 10^{9}\ \frac{(8.0 \times 10^{-6})^2}{(5.0 \times 10^{-2})^2}$$

$$= 230N$$

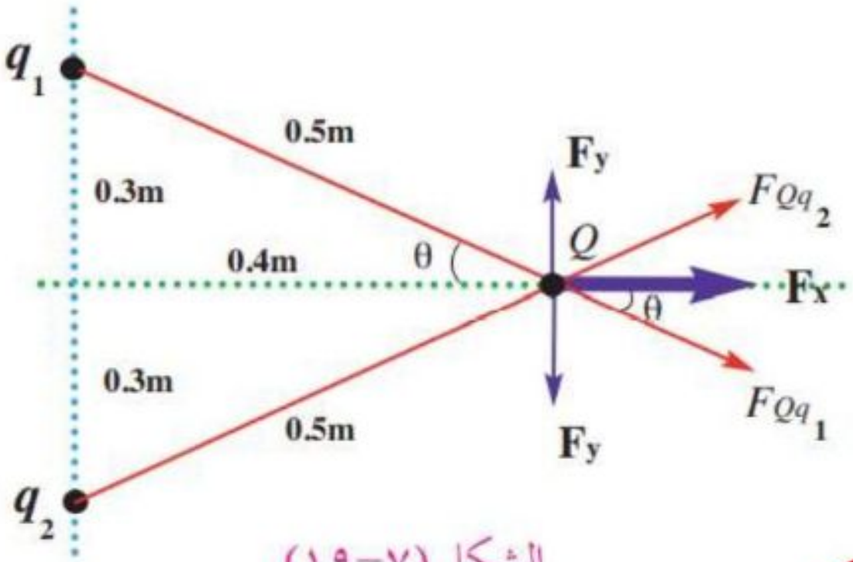
الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

٢ـ القوة الكهربائية المؤثرة على شحنة نقطية نتيجة عدد من الشحنات.

لحساب القوى الكهربائية الكلية المؤثرة على شحنة معينة نتيجة وجودها في مجال عدة شحنات، فإننا نوجد الجمع الاتجاهي لجميع القوى المتبادلة مع تلك الشحنة.

مثال (٢):

الشكل (٧–١٩) يبيّن ثلاث شحنات تقع عند رؤوس مثلث متساوي الساقين. الشحنتان q_1 و q_2 موجبتان ومتساويتان وقيمتهما $2 \times 10^{-6}\ C$، يؤثران ويتأثران بشحنة ثالثة Q قيمتها $4 \times 10^{-6}\ C$، أوجد مقدار واتجاه القوة المحصلة على الشحنة Q.

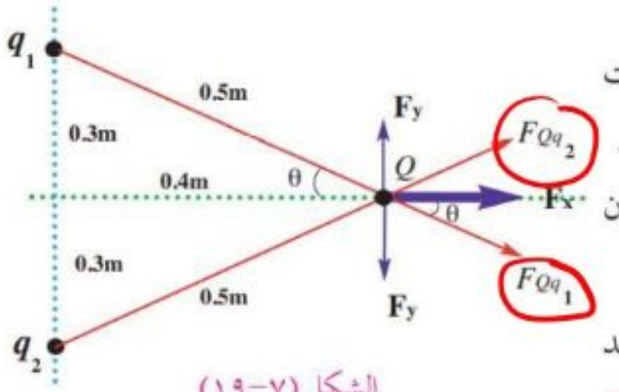


الشكل (٧–١٩)

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

مثال (٢) :

الشكل (٧-١٩) يبيّن ثلاث شحنات تقع عند رؤوس مثلث متساوي الساقين . الشحنتان q_1 و q_2 موجبتان ومتساويتان وقيمتهما $2 \times 10^{-6}\ C$ ، يؤثران ويتأثران بشحنة ثالثة Q قيمتها $4 \times 10^{-6}\ C$، أوجد مقدار واتجاه القوة المحصلة على الشحنة Q .



الشكل (٧-١٩)

الحل :

لإيجاد محصلة القوى الكهربائية المؤثرة على الشحنة Q نطبق قانون كولومب لحساب مقدار القوة التي تؤثر بها كل شحنة على الشحنة Q وبما أن الشحنتين q_1 و q_2 متساويتان وتبعدان نفس المسافة عن الشحنة Q، فإن القوتين متساويتان في المقدار.

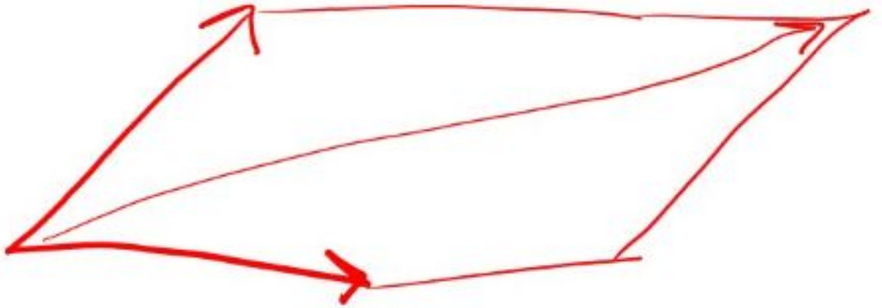
$$F_{Qq} = K\frac{qQ}{r^2} = 9 \times 10^9 \frac{(4 \times 10^{-6})(2 \times 10^{-6})}{(0.5)^2} = 0.29\ N = F_{Qq_2}$$

بتحليل متجه القوة إلى مركبتين ينتج:

$$F_x = F\cos\theta = 0.29\left[\frac{0.4}{0.5}\right] = 0.23\ N$$

$$F_y = -F\sin\theta = -0.29\left[\frac{0.3}{0.5}\right] = -0.17\ N$$

وبالمثل يمكن إيجاد القوة المتبادلة بين الشحنتين q_2 و Q وهي F_{Qq_2}، وبالتحليل الاتجاهي نلاحظ



أن مركبتي القوتين على المحور y متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه.

$$\sum F_x = 2 \times 0.23 = 0.46\ N$$

$$\sum F_y = 0$$

وبهذا فإن مقدار القوة المحصلة هي $0.46\ N$، واتجاهها هو اتجاه محور السينات الموجب.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

اختبر فهمك ٥

١- عند تطبيق قانون كولومب على كرتين صغيرتين مشحونتين كما في الشكل (٧-٢٠) ، فإن r تمثل المسافة من :

أ) A إلى B
ب) A إلى D
ج) B إلى C
د) B إلى D
هـ) C إلى D
و) A إلى G
ي) B إلى F
ز) C إلى E

الشكل (٧-٢٠)

٢- أوجد قيمة قوة التنافر بين كرتين صغيرتين مشحونتين وتفصل بينهما مسافة مقدارها متر واحد إذا كانت كل كرة تحمل شحنة مقدارها $1.0 \times 10^{-12} C$.

إجابة اختبر فهمك (٥):

١- ي

٢-

$$F = k\frac{q_1 q_2}{r^2} = 9\times10^{9}\frac{1.0\times10^{-12}\times1.0\times10^{-12}}{1^2}$$

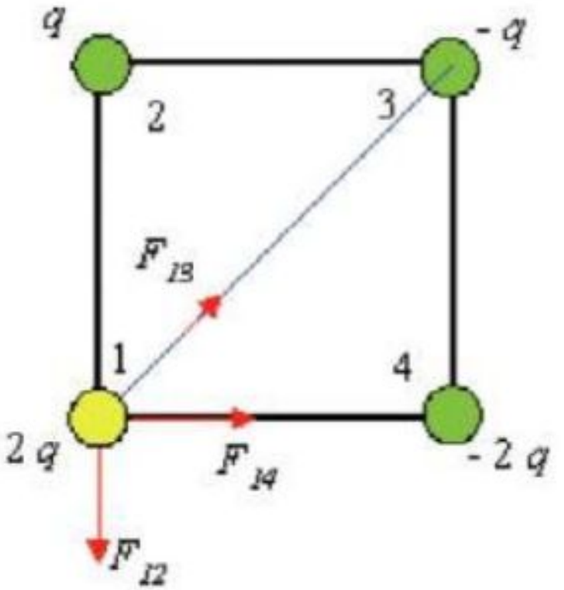
$$= 9\times10^{-15}\ N$$

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

أمثلة إضافية لحساب القوة الكهربائية:

في الشكل(٧–٦) ، ما محصلة القوى المؤثرة على الشحنة(2q+)علمًا بأن

$q = 1 \times 10^{-7}\ C$ و $a = 5\ cm$ ؟



الشكل (٧–٦)

الإجابة :

$$\vec{F} = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{13} + \vec{F}_{14}$$

$$F_{12}: \ K\frac{2qq}{a^2}$$

$$F_{13}: \ K\frac{2qq}{2a^2}$$

$$F_{14}: \ K\frac{2q2q}{a^2}$$

لاحظ هنا أننا أهملنا التعويض عن إشارة الشحنات عند حساب مقدار القوى. وبالتعويض في المعادلات ينتج أن:

$F_{12}: \ 0.072\ N$

$F_{13}: \ 0.036\ N$

$F_{14}: \ 0.144\ N$

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

لاحظ هنا أننا لا نستطيع جمع القوى الثلاث مباشرة لأن خط عمل القوى مختلف، ولحساب المحصلة نفرض محورين متعامدين x,y ونحلل القوى التي لا تقع على هذين المحورين أي متجه القوة F_{13} ليصبح

$F_{13x} : F_{13} \sin 45 : 0.025 \text{ N}$ &

$F_{13y} : F_{13} \cos 45 : 0.025 \text{ N}$

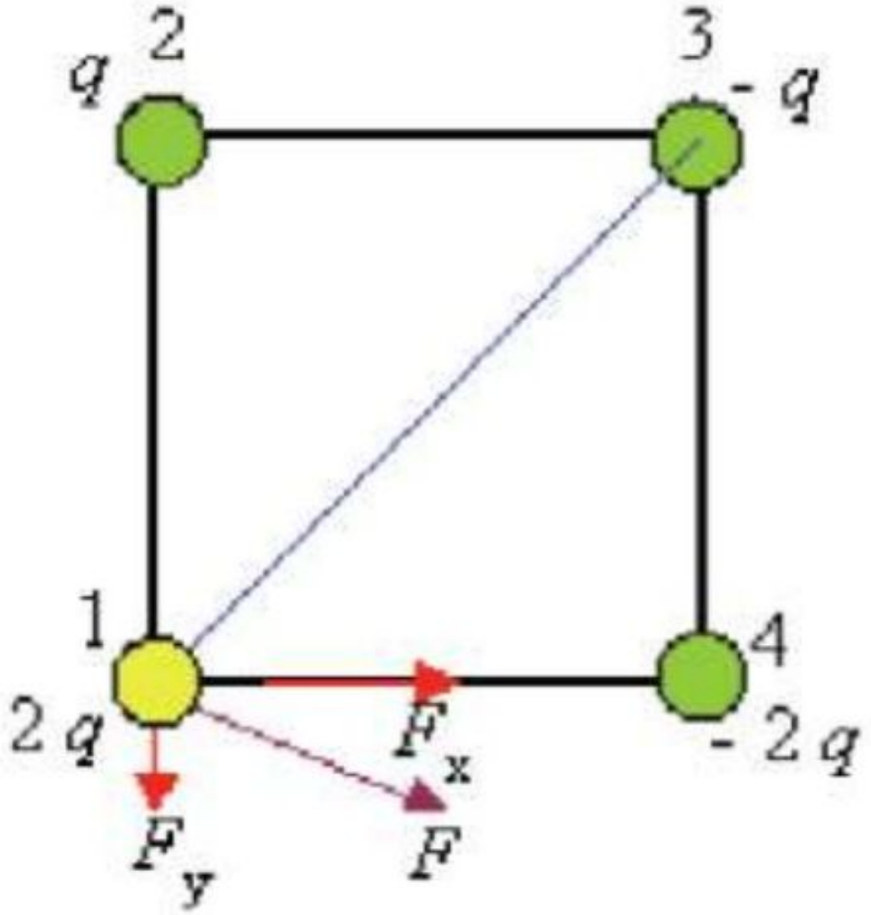
$F_x : F_{13x} + F_{14} : 0.025 + 0.144 : 0.169 \text{ N}$

$F_y : F_{13y} - F_{12} : 0.025 - 0.072 : -0.047 \text{ N}$

الإشارة السالبة تدل على أن اتجاه مركبة القوة في اتجاه محور y السالب.

$$F : \sqrt{(F_x)^2 + (F_y)^2} : 0.175 \text{ N}$$

$$\theta : \tan^{-1}\frac{F_y}{F_x} : -15.5^\circ$$



الشكل (٧-٧)

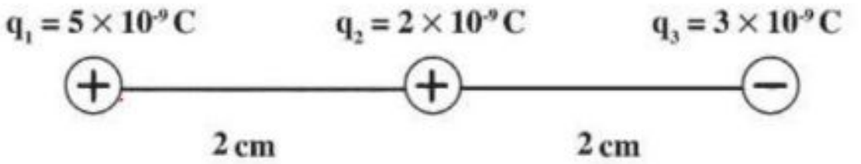
الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

مثال إضافي:

وضعت ثلاث شحنات كهربائية على استقامة واحدة كما هو مبين في الشكل أدناه.

أوجد مقدار القوة المؤثرة على الشحنة q_1.



نوجد أولا القوة المؤثرة على الشحنة q_1 بسبب الشحنة q_2 ولتكن F_{12}،

$$F_{12} = k\frac{q_1 q_2}{r_{12}^{\,2}}$$

$$= \frac{9\times10^{9}\times5\times10^{-9}\times2\times10^{-9}}{\left(2\times10^{-2}\right)^2} = 22.5\times10^{-5}\,N$$

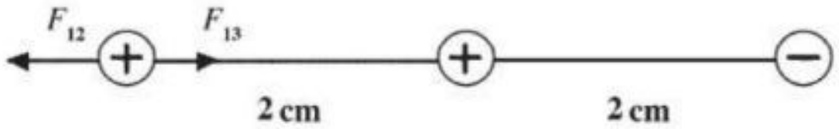
أما اتجاه القوة فيكون نحو اليسار لأنها قوة تنافر.

ثانيًا نوجد القوة المؤثرة على الشحنة q_1 بسبب الشحنة q_3 ولتكن F_{13}.

$$F_{13} = k\frac{q_1 q_3}{r_{13}^{\,2}}$$

$$= \frac{9\times10^{9}\times5\times10^{-9}\times3\times10^{-9}}{\left(4\times10^{-2}\right)^2}$$

$$= 8.44\times10^{-5}\,N$$



أما اتجاه القوة فيكون نحو اليمين لأنها قوة تجاذب.

وتكون القوة الكلية F المؤثرة على الشحنة q_1 عبارة عن حاصل الجمع الاتجاهي للقوتين F_{12} و F_{13} ، وبما أن القوتين في اتجاهين متضادين فإن المحصلة F تساوي

$$F = F_{12} - F_{13}$$

$$= 22.5\times10^{-5} - 8.44\times10^{-5}$$

$$= 14.06\times10^{-5}\,N$$

واتجاهها نحو اليسار (أي باتجاه القوة الأكبر).

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

٧-٧ المجالات الكهربائية Electric Fields

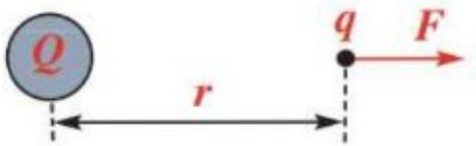
تعمل جميع الأجسام على جذب الأجسام الأخرى نحوها بقوة معينة $\vec{F}$ ، والمدى أو الحيز الذي تظهر فيه آثار هذه القوة يسمى بمجال الجاذبية. مثلاً نقول مجال الجاذبية الأرضية أي الحيز المحيط بالكرة الأرضية الذي تظهر خلاله آثار قوة جذب الأرض للأجسام الأخرى .

وبالمثل عند وضع شحنة اختبار، وهي شحنة موجبة متناهية في الصغر لا تؤثر بأية قوة على الشحنات القريبة منها، بالقرب من جسم مشحون ، فإن شحنة الاختبار تتأثر بقوة كهربائية رغم عدم تلامسها مع الجسم المشحون . ومعنى ظهور هذه القوة على شحنة الاختبار هو أن الجسم المشحون له تأثير كهربائي في المنطقة المحيطة به . هذا التأثير هو الذي نسميه بالمجال الكهربائي، وبالتالي يمكننا أن نعرف المجال الكهربائي بأنه **المنطقة المحيطة بالأجسام المشحونة والتي تتأثر فيها الشحنات الأخرى بقوة تجاذب أو تنافر** .

يعتمد مقدار القوة التي يؤثربها المجال الكهربائي في نقطة معينه على مقدار الشحنة الكهربائية المسببة للمجال وعلى البعد عن الجسم المشحون. وسوف نتناول الآن المجال الكهربائي من منظور عددي أو ما يعرف **بشدة المجال الكهربائي**.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

شدة المجال الكهربائي *Electric Field Intensity*



الشكل (٧–٢١)

لنفترض أن شحنة كهربائية (Q) تحدث مجالاً كهربائيًا، شكل (٧– ٢١). إن شدة المجال الكهربائي لهذه الشحنة يمكن قياسه بوضع شحنة اختبارية موجبه (q) في مكانٍ ما داخل مجال الشحنة (Q) ، وعندما توضع هذه الشحنة داخل المجال فإنها تتأثر بقوة كهربائية (إما تنافر أو تجاذب). إن شدة المجال الكهربائي يمكن أن تعرف بأنها مقدار القوة لوحدة الشحنات الاختبارية .

وإذا رمزنا لشدة المجال الكهربائي بالرمز $\vec{E}$ ، تصبح المعادلة كالتالي :

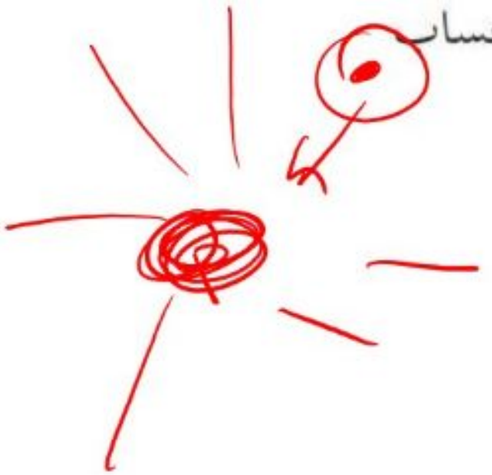
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \qquad (٢-٧)$$

كما أن وحدة قياس شدة المجال الكهربائي يمكن استنتاجها من العلاقة (٧–٢) وهي وحدة قوة مقسومة على وحدة شحنة وبالتالي فهي (N/C). وبما أن شدة المجال كمية متجهة ، فإن اتجاه $\vec{E}$ هو اتجاه القوة المؤثرة على الشحنة الاختبارية الموجبة.

إن شدة المجال الكهربائي لا يعتمد على قيمة الشحنة الاختبارية. قد تتساءل لوهلة إذا كانت

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

الشحنة (q) موجودة في معادلة شدة المجال الكهربائي، فكيف لا تعتمد قيمة شدة المجال الكهربائي على مقدار الشحنة (q) ؟ إذا فكرت قليلاً، ستستطيع الإجابة عن هذا السؤال بنفسك.



إذا قمنا بالتعويض عن قيمة القوة الكهربائية باستخدام قانون كولومب ، فيمكننا حساب شدة المجال الكهربائي كالتالي:

$$E = \frac{F}{q} = \frac{kqQ}{qr^2}$$

$$\therefore \quad E = \frac{kQ}{r^2} \qquad (٣-٧)$$

تلاحظ من المعادلة أن شدة المجال الكهربائي تتناسب طرديًا مع قيمة الشحنة (Q) وعكسيًا مع مربع المسافة من الشحنة ولا تعتمد على قيمة الشحنة الاختبارية.

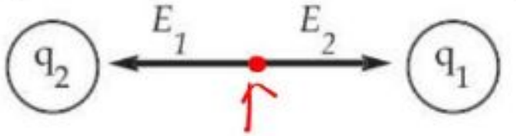
الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

اختبر فهمك ٦

شحنتان كهربائيتان مقدار كل منها $2 \times 10^{-6} C$ ، البعد بينهما $0.3m$ ، احسب شدة المجال الكهربائي في منتصف المسافة بينها.

إجابة اختبر فهمك (٦):

شدة المجال في منتصف المسافة بين الشحنتين تساوي محصلة المجال الكهربائي للشحنتين عند منتصف المسافة على الخط الواصل بين الشحنتين كما موضح في الشكل التالي:



نحسب قيمة المجال E_1 عن الشحنة الأولى والمجال E_2 عن الشحنة الثانية من المعادلة:

$$E_1 = \frac{kq_1}{r^2}$$

$$E_1 = (9 \times 10^9) \frac{(2 \times 10^{-6})}{0.15^2}$$

$$E_1 = 8 \times 10^5 \ N/C$$

$$E_2 = (9 \times 10^9) \frac{(2 \times 10^{-6})}{0.15^2}$$

$$E_2 = 8 \times 10^5 \ N/C$$

وبما أن المجالين متعاكسين فإن محصلة المجالين

$$\Delta E = E_2 - E_1 = 0$$

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

خطوط المجال الكهربائي *Electric field lines*

يعبر عن المجال الكهربائي بخطوط وهمية تسمى خطوط المجال الكهربائي، وتشير خطوط المجال إلى الاتجاه الذي تسلكه الشحنة الاختبارية الموجبة نتيجة تأثرها بالقوة الكهربائية.

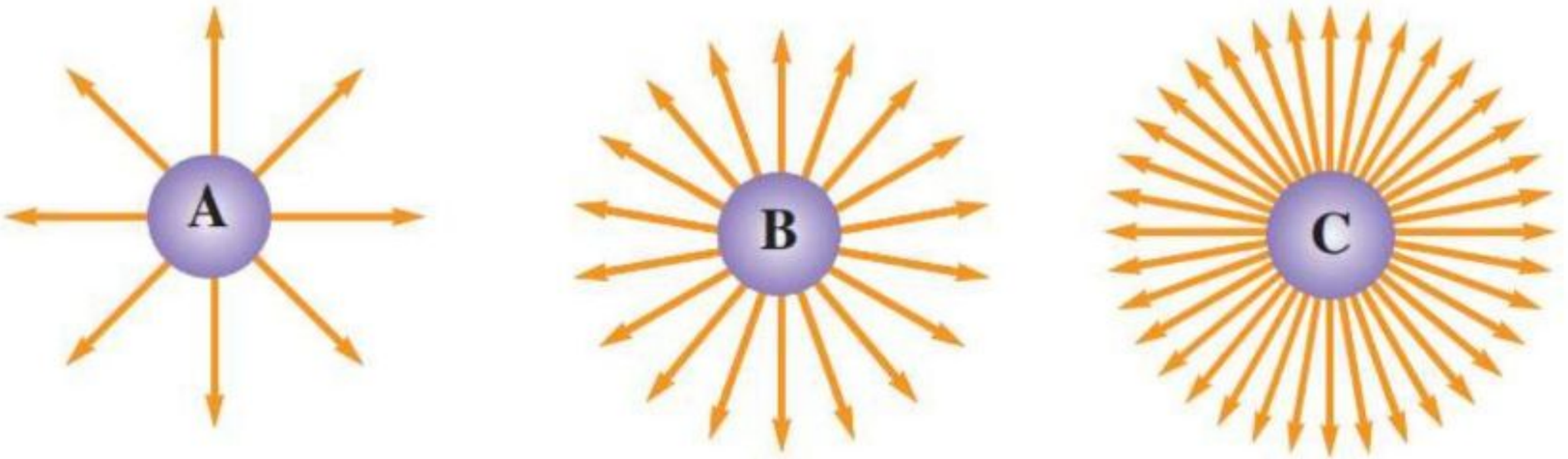
خصائص خطوط المجال الكهربائي:

١) تتجه خطوط المجال الكهربائي بعيدا عن الشحنة الموجبة، وتتجه مقتربة من الشحنة السالبة، كما يظهر في الشكل(٧-٢٢).

الشكل (٧-٢٢)

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

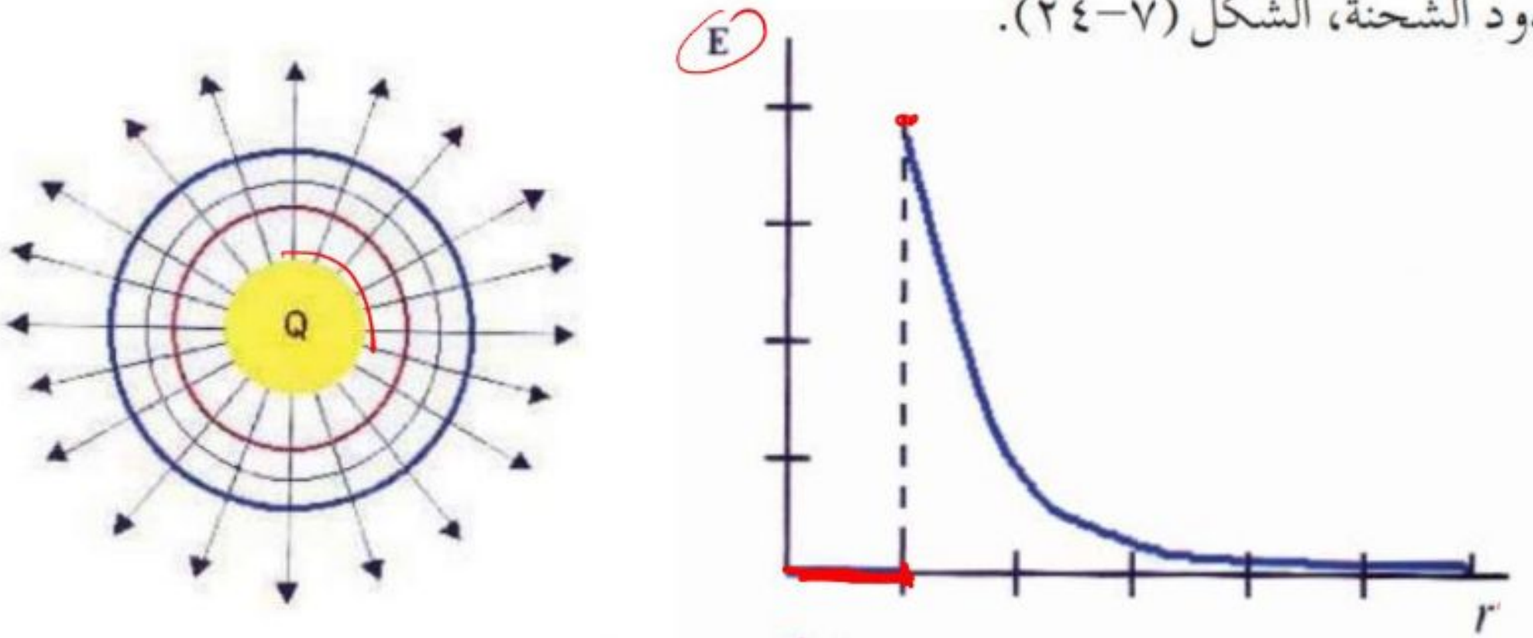
٢) تدل كثافة خطوط المجال على شدة المجال الكهربائي، فكلما زاد تقارب خطوط المجال عند نقطة دل ذلك على زيادة شدة الكهربائي في تلك النقطة. على سبيل المثال لو قارنا بين قيمة الشحنات (A,B,C) الموضحة في الشكل(٧–٢٣) بواسطة عدد خطوط المجال المحيطة بكل شخنة سنجد أن قيمة الشحنة A تساوي نصف قيمة الشحنة B ، وربع قيمة الشحنة C.



الشكل (٧–٢٣)

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

٣) خطوط المجال تنتهي على سطح الشحنة ولا تخترقها، وبالتالي لا يوجد مجال كهربائي ضمن حدود الشحنة، الشكل (٧–٢٤).



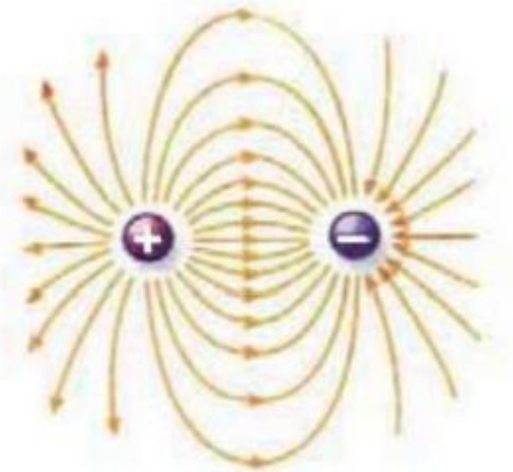
الشكل (٧–٢٤)

يمثل الخط البياني الأزرق قيمة شدة المجال الكهربائي للشحنة (Q)، وكما نلاحظ فإن المجال يبدأ من السطح الخارجي للشحنة ويكون أكبر ما يمكن ثم يبدأ في التناقص بزيادة البعد عن الشحنة.

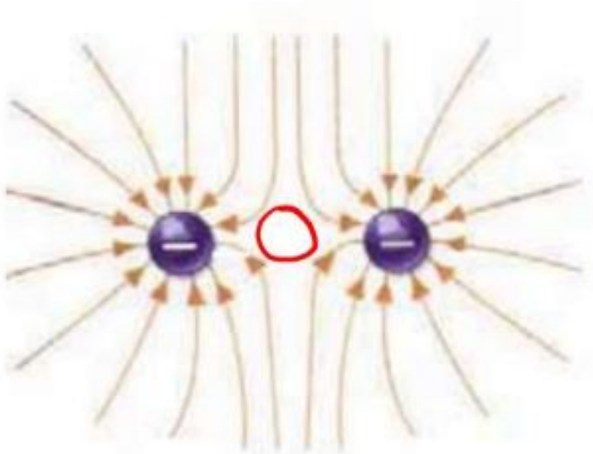
الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

٤) خطوط المجال لا تتقاطع أبدا، لأن تقاطعها في نقطة يدل على أن للمجال أكثر من اتجاه في تلك النقطة وهذا لايحدث.

٥) تنعدم خطوط المجال في منطقة بين الشحنتين المتماثلتين، وذلك نظرا إلى أن محصلة المجالات عندها تساوي صفرا، وتسمى هذه النقطة بنقطة التعادل، كما يوضحها الشكل (٧–٢٥ب). أما إذا كانت الشحنتان مختلفتان فإن نقطة التعادل تكون خارج إحدى الشحنتين وعلى الخط الواصل بينهما وبالقرب من الشحنة الأصغر.



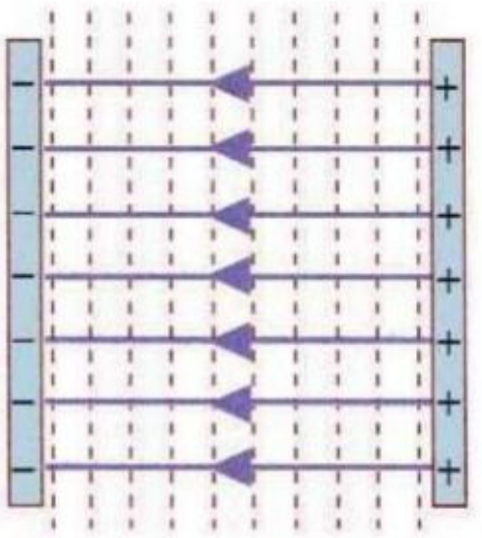
الشكل (٧–٢٥أ)



الشكل (٧–٢٥ب)

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

٦) في حالة المجالات المنتظمة فإننا نجد أن خطوط المجال تكون مستقيمة ومتوازية وتفصل بينها مسافات متساوية ومنتظمة ، كما في حالة اللوحين المعدنيين المتوازيين والمشحونين بشحنتين مختلفتين، الشكل (٧–٢٦).



الشكل (٧–٢٦)

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

القوى الكهربائية وقوى التجاذب الكتلي

بعد أن درست القوة والمجال الكهربائي والمفاهيم الأخرى المرتبطة بهما، سوف تلاحظ أن هناك بعض أوجه التشابه والاختلاف بين هذه المفاهيم وبين قوى التجاذب الكتلي ومجالات الجذب العام التي درستها في الوحدات السابقة.إن الجدول التالي يستعرض أهم أوجه التشابه والاختلاف بين القوى الكهربائية وقوى التجاذب الكتلي.

قوى التجاذب الكتلي $\left[F = G\frac{mM}{r^2}\right]$	القوى الكهربائية $\left[F = k\frac{qQ}{r^2}\right]$
قيمة معامل التجاذب الكتلي (G) صغيرة جدًّا، وبالتالي فإن الجاذبية هي قوة ضعيفة.	قيمة (k) كبيرة جدًّا وبالتالي فان القوى الكهربائية كبيرة.
معادلة تربيعية عكسية	معادلة تربيعية عكسية
تجاذب فقط	تجاذب وتنافر
شدة مجال الجذب $F = mg = G\frac{mM}{r^2}$ $g = G\frac{M}{r^2}$	شدة المجال الكهربائي $F = qE = k\frac{qQ}{r^2}$ $E = k\frac{Q}{r^2}$
تقاس (g) بوحدة $(m/s^2) = N/kg$	تقاس(E) بوحدة N/C

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

اختبر فهمك ٧

١- الشحنة (Q) هي شحنة نقطية تولد مجالاً كهربائيًا حولها. وجد أن شدة هذا المجال على مسافة مقدارها (30 cm) من الشحنة هي (40 N/C) ، ما قيمة شدة المجال الكهربائي المتوقع قياسها عند المسافات التالية:

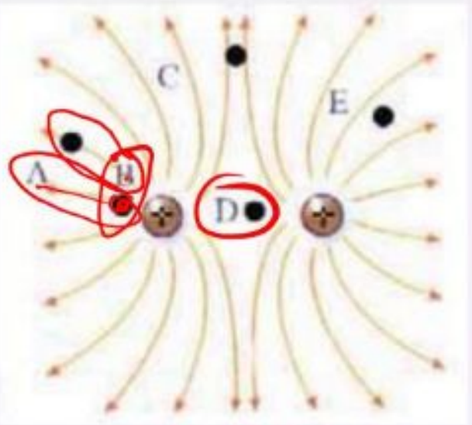
أ) (60 cm) من الشحنة؟

ب) (15 cm) من الشحنة؟

ج) (90 cm) من الشحنة؟

د) (45 cm) من الشحنة؟

٢- الشكل (٧ - ٢٧) يوضح خطوط المجال الكهربائي لشحنتين موجبتين. تم تحديد عدة مواقع في الشكل، رتّب هذه المواقع من حيث شدة المجال الكهربائي من الأصغر إلى الأكبر.



الشكل (٧-٢٧)

إجابة اختبر فهمك (٧) :

١)

أ)

$$E_1 = k\frac{Q}{r_1^2}$$

$$E_2 = k\frac{Q}{r_2^2}$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$$

$$\frac{40}{E_2} = \frac{0.6^2}{0.3^2}$$

$$E_2 = 10N/C$$

ب) 160 N C

ج) 4.44 N C

د) 17.8 N C

٢) B , E , C , A ,D

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

خلفية علمية : نقطة التعادل

نقطة التعادل هي المنطقة التي ينعدم فيها خطوط المجال الكهربائي (محصلة المجالات الكهربائية في هذه النقطة مساوية للصفر) ، وعند تحديد هذه النقطة يراعى الآتي:

أ) شحنتان متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الشحنة : في هذه الحالة تكون نقطة التعادل في منتصف المسافة بين الشحنتين.

ب) شحنتان لهما نفس نوع الشحنة وغير متساويتين في المقدار: في هذه الحالة تكون نقطة التعادل بين الشحنتين وأقرب إلى الشحنة الأصغر.

ج) شحنتان مختلفتان في نوع الشحنة ومقدارها :

في هذه الحالة تكون نقطة التعادل خارج المنطقة بين الشحنتين وعلى امتداد الخط الفاصل بينهما وأقرب إلى الشحنة الأصغر.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

مثال (١) :

احسب شدة المجال الكهربائي الناشئ عن شحنة كهربائية مقدارها (9 μC) موضوعة في الهواء، عند نقطة تبعد عنها (0.1 m) ثم أوجد مقدار ونوع القوة التي يؤثر بها المجال على شحنة مقدارها (2 μC) ، موضوعة في تلك النقطة.

الحل :

$$E = \frac{kQ}{r^2} = \frac{9\times10^{9}\times9.0\times10^{-6}}{(0.1)^2}$$

$$= 8.1\times10^{6}\ N/C$$

أما القوة المؤثرة على الشحنة الصغرى فهي :

$$F = Eq$$

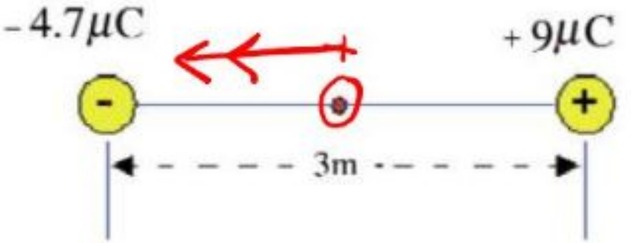
$$= 8.1\times10^{6}\times2\times10^{-6}$$

$$= 16.2N$$

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

مثال (٢):

أوجد محصلة المجال الكهربائي لشحنتين كهربائيتين عند منتصف المسافة على الخط الفاصل بينهما كما هو موضح في الشكل التالي:



نحسب قيمة المجال E_1 عن الشحنة الأولى والمجال E_2 عن الشحنة الثانية من المعادلة :

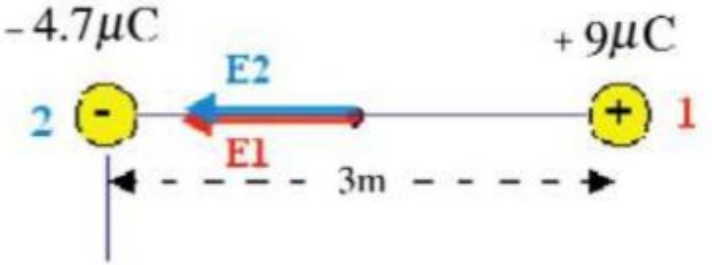
$$E = \frac{kQ}{r^2}$$

حيث المسافة r هي (1.5m)

$$E_1 = \frac{kq_1}{r^2} = 9\times10^9 \frac{9\times10^{-6}}{(1.5)^2}$$

$$= 36000 N/C$$

نحدد المجال الناتج عن كل شحنة عند النقطة المراد حساب المجال الكلي لها وذلك كما في الشكل التالي :



$$E_2 = \frac{kq_2}{r^2} = 9\times10^9 \frac{4.7\times10^{-6}}{(1.5)^2} = 18800$$

$$= 42300 N/C$$

ولأن المجالين لهما نفس الاتجاه في هذه النقطة، فان محصلة المجالين هي الجمع الجبري لقيمتيهما:

$E : E_1 + E_2 :$ ~~78300 N C~~ 54800 N/C

واتجاهه إلى اليسار كما في الشكل.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner