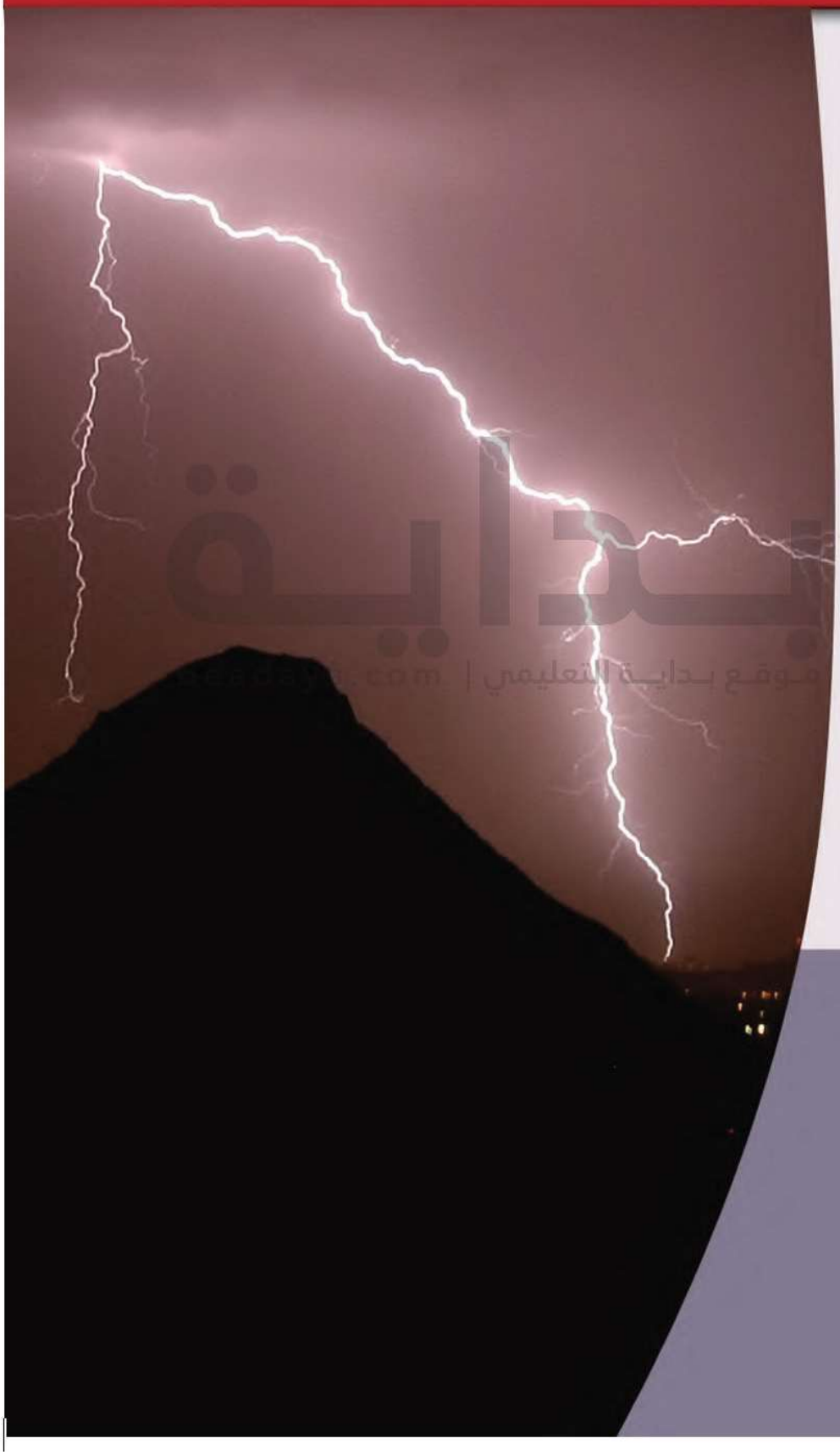
الفصل 2

الكهرباء الساكنة
Static Electricity



ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- ملاحظة سلوك الشحنات الكهربائية، وتحليل طريقة تفاعلها مع المادة.
- اختبار القوى التي تؤثر بين الشحنات الكهربائية.

الأهمية

تتحكم الكهرباء الساكنة في عمل بعض الأجهزة، ومنها آلة الطباعة وآلة تصوير الأوراق، إلا أن لها آثارًا سلبية على بعض المكونات الإلكترونية للأجهزة، كما أن لها دورًا في تشكّل البرق.

البرق مثالًا على تفريغ الكهرباء الساكنة، ومن ذلك أيضًا الشرارة الكهربائية الصغيرة التي تشعر بها عندما تلمس مقبض الباب الفلزي في يوم جاف. وتختلف عمليتا الشحن والتفريغ – في حالتي الشرارة الكهربائية الصغيرة والبرق – إلى حد كبير من حيث المقدار، إلا أنهما متماثلتان في طبيعتيهما الأساسية.

فكّر ◄

ما أسباب تراكم الشحنات على السحب الرعدية؟ وكيف يحدث تفريغها على شكل برق؟

موقع بداية التعليمي

رابط الدرس الرقمي
www.ien.edu.sa

تجربة استهلالية

أيّ القوى تؤثر عن بُعد؟

سؤال التجربة ماذا يحدث عند دلك مسطرة بلاستيكية بقطعة صوف ثم تقريبها إلى قصاصات ورقية؟

التفكير الناقد ما القوى المؤثرة في قصاصات الورق قبل تقريب المسطرة إليها؟ وماذا يمكنك أن تستنتج عن القوى المؤثرة في هذه القصاصات بعد تقريب المسطرة البلاستيكية إليها؟

ضع فرضيات توضّح التأثير الذي أحدثته المسطرة في القصاصات الورقية، مستعينًا بإجاباتك عن السؤالين السابقين.

الخطوات

1. ضع 100– 150 قصاصة ورق (مما ينتج عن استعمال الخرامة) على الطاولة.
2. خذ مسطرة بلاستيكية، وادلكها بقطعة صوف.
3. قرّب المسطرة إلى القصاصات، ولاحظ تأثيرها فيها.

التحليل

ماذا حدث لقصاصات الورق عندما قرّبت المسطرة البلاستيكية إليها؟ وماذا حدث للقصاصات التي التصقت بالمسطرة؟ هل لاحظت نتائج غير متوقعة عندما قربت المسطرة إلى قصاصات الورق؟ إذا كان هناك نتائج غير متوقعة فصِفها.

1–2 الشحنة الكهربائية Electric Charge

الأهداف

- **توضح** أن الأجسام المشحونة تؤثر بقوى تجاذب وتنافر.
- **تثبت** أن عملية الشحن هي فصل للشحنات الكهربائية، وليس إنتاجها.
- **تصف** الاختلافات بين الموصلات والعوازل.

المفردات

الكهرباء الساكنة (الكهروسكونية)
الذرة المتعادلة
مادة عازلة
مادة موصلة

لعلك مشيت يومًا على سجادة، وقد احتكّ حذاؤك بنسيجها، مما ولّد شرارة كهربائية ظهرت عندما لمست شخصًا آخر. هل هناك تشابه بين هذه الشرارة والبرق؟ لاختبار ذلك، أجرى بنيامين فرانكلين عام 1752م تجربة على طائرة ورقية؛ حيث طيّر الطائرة، وربط مفتاحًا في نهاية الخيط المتصل بها، وعندما اقتربت عاصفة رعدية من الطائرة لاحظ أن ألياف الخيط الرخوة قد انتصبت وتنافر بعضها عن بعض. وعندما قرّب فرانكلين إصبعه من المفتاح لاحظ حدوث شرارة كهربائية. وكانت هذه تجربة رائعة ولكنها مجازفة خطيرة، ومن حسن حظّه أنه نجا، فقد حاول أحد العلماء إعادة التجربة نفسها إلا أنه مات مصعوقًا. وقد انطلقت بعد ذلك سلسلة من البحوث في مجال الكهرباء، بعدما أظهرت تجربة فرانكلين أن البرق يشبه الشرر الناجم عن الاحتكاك. وتسمى التأثيرات الكهربائية التي تتولّد بهذه الطريقة الكهرباء الساكنة.

وفي هذا الفصل ستستقصي **الكهرباء الساكنة (الكهروسكونية)**؛ وهي دراسة الشحنات الكهربائية التي تتجمع وتُحتجز في مكان ما. ويمكن ملاحظة آثار الكهرباء الساكنة على نطاق واسع؛ بدءًا بالبرق، ووصولًا إلى المستوى المجهري للذرات والجزيئات. أما الكهرباء التيارية (المتحركة) المتولدة عن البطاريات والمولّدات فستدرسها في الفصول اللاحقة.

beadaya.com | بداية

تجربة استهلالية

أيّ القوى تؤثر عن بُعد؟

سؤال التجربة ماذا يحدث عند دلك مسطرة بلاستيكية بقطعة صوف ثم تقريبها إلى قصاصات ورقية؟

الخطوات

1. ضع 100– 150 قصاصة ورق (مما ينتج عن استعمال الخرامة) على الطاولة.
2. خذ مسطرة بلاستيكية، وادلكها بقطعة صوف.
3. قرّب المسطرة إلى القصاصات، ولاحظ تأثيرها فيها.

التحليل

ماذا حدث لقصاصات الورق عندما قرّبت المسطرة البلاستيكية إليها؟ وماذا حدث للقصاصات التي التصقت بالمسطرة؟ هل لاحظت نتائج غير متوقعة عندما قربت المسطرة إلى قصاصات الورق؟ إذا كان هناك نتائج غير متوقعة فصِفها.

التفكير الناقد ما القوى المؤثرة في قصاصات الورق قبل تقريب المسطرة إليها؟ وماذا يمكنك أن تستنتج عن القوى المؤثرة في هذه القصاصات بعد تقريب المسطرة البلاستيكية إليها؟

ضع فرضيات توضّح التأثير الذي أحدثته المسطرة في القصاصات الورقية، مستعينًا بإجاباتك عن السؤالين السابقين.

عندما تصبح المسطرة المشحونة قريبة جدا من قصاصات الورق فإنها تجذبها، ثم تتنافر القصاصات التي التصقت بالمسطرة بعدذلك. قد لا يتوقع بعض الطلاب انجذاب قصاصات الورق إلى المسطرة إلا بتقريب المسطرة وملامستها للقصاصات.

في البداية تتأثر قصاصات الورق بقوتين فقط، هما: قوة الجاذبية الأرضية إلى أسفل، والقوة العمودية المتمثلة في قوة دفع سطح الطاولة للقصاصات إلى أعلى. ولأن هاتين القوتين في حالة اتزان فإن القصاصات لا تتحرك. وعند تقريب المسطرة المشحونة من القصاصات فإنها تؤثر فيها بقوة كهربائية تجعل القوى المؤثرة في القصاصات غير متزنة. ولأن الشحنات المختلفة تتجاذب فإن القصاصات تتحرك نحو المسطرة. وعندما تلامس قصاصة ورق المسطرة المشحونة تنتقل بعض الشحنات من المسطرة إلى هذه القصاصة، وعندها يصبح لها الشحنة نفسها، لذا تتنافر هذه القصاصة مع المسطرة البلاستيكية المشحونة وتبتعد عنها.

بداية
موقع بداية للتعليم
bedaya.com

الأجسام المشحونة Charged Objects

هل لاحظت انجذاب شعرك نحو المشط عند تمشيطه في يوم جاف؟ لعلك لاحظت أيضًا التصاق الجوارب أحيانًا بعضها ببعض عند إخراجها من مجفّفة الملابس. ولعلك لاحظت كذلك انجذاب قصاصات الورق إلى المسطرة البلاستيكية الموضحة في التجربة الاستهلالية وفي **الشكل 1–2**. من المؤكد وجود قوة ناتجة كبيرة نسبيًّا سبّبت تسارع القصاصات إلى أعلى بمقدار أكبر من تسارعها إلى أسفل الناتج عن قوة الجاذبية الأرضية.

وهناك اختلافات أخرى بين القوة الناتجة وقوة الجاذبية الأرضية؛ فقصاصات الورق لا تنجذب إلى المسطرة إلا بعد دلك المسطرة، كما أن المسطرة تفقد خاصية الجذب هذه بعد فترة قصيرة. أما قوة الجاذبية الأرضية فلا تحتاج إلى دلك حتى تتولّد، كما أنها لا تفقد خاصية الجذب. لقد لاحظ قدماء الإغريق آثارًا مماثلة للمسطرة المدلوكة عندما دلكوا العنبر (الكهرمان). (**وترجمة كلمة عنبر إلى اللغة اليونانية هي "إلكترون"**)، وتُسمّى خاصية الجذب هذه الآن الكهرباء. وتسمّى الأجسام التي تبدي تفاعلاً كهربائيًّا بعد الدلك الأجسامَ المشحونة.

تجربة عملية

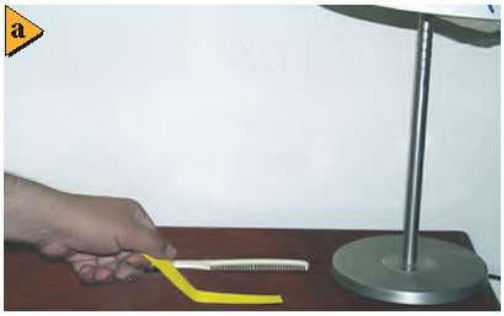
كيف تشحن الأجسام؟

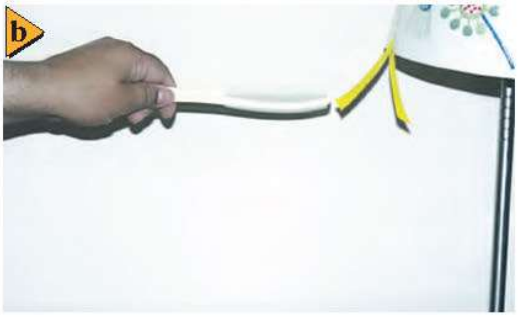
ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

الشحنات المتماثلة يمكنك استكشاف التفاعلات الكهربائية باستخدام أجسام بسيطة، مثل شريط لاصق. اطوِ 5 cm تقريبًا من الشريط حتى يُتَّخذ ذلك الجزء مقبضًا، ثم ثبّت الجزء المتبقي من الشريط 8–12 cm على سطح جاف وأملس كسطح الطاولة. بالطريقة نفسها، ثبّت شريطًا آخر مماثلًا للشريط الأول بالقرب منه، ثم اسحب الشريطين بسرعة عن سطح الطاولة، وقرّب أحدهما إلى الآخر. ستلاحظ أن هناك خاصية جديدة تجعلهما يتنافران؛ فلقد أصبحا مشحونين كهربائيًّا. ولأنهما أُعِدّا بالطريقة نفسها، فيجب أن يكون لهما النوع نفسه من الشحنات. وهكذا تتوصل إلى أن الجسمين اللذين لهما النوع نفسه من الشحنة يتنافران .

beadaya.com | موقع بداية التعليمي

الشكل 1–2 يولّد دلك مسطرة بلاستيكية بقطعة صوف قوة تجاذب بين المسطرة وقصاصات الورق. وعند تقريب المسطرة أكثر إلى قصاصات الورق تعمل قوة الجذب الكهربائية على تسارع هذه القصاصات رأسيًّا إلى أعلى في اتجاه معاكس لتسارع قوة الجاذبية الأرضية.





■ **الشكل 2–2** يمكن شحن الأشرطة بشحنات مختلفة (a). ويمكن استعمالها بعد ذلك لتوضيح التفاعلات بين الشحنات المتماثلة والمختلفة (b).

يمكنك معرفة المزيد عن هذه الشحنة بإجراء تجارب بسيطة. فلعلك لاحظت أن الشريط ينجذب إلى يدك، هل ينجذب كلا الجانبين أم أحدهما فقط؟ وإذا انتظرت فترة من الزمن، وخصوصًا في الطقس الرطب، فستلاحظ اختفاء الشحنة الكهربائية. ويمكنك إعادة شحن الشريط مرة أخرى بإلصاقه بسطح الطاولة وسحبه عنها. كما يمكنك إزالة الشحنة عن الشريط بدلك جانبيه بأصابعك بلطف.

الشحنات المختلفة ألصق الآن شريطًا على سطح الطاولة، ثم ضع الشريط الثاني فوق الأول. وكما هو موضح في **الشكل 2a–2**، استخدم مقبض الطرف السفلي لكلا الشريطين لسحبهما معًا عن سطح الطاولة، ثم ادلكهما بأصابعك حتى تختفي قوة التجاذب بينهما وبين يدك. لقد أزلت كل الشحنات الكهربائية عنهما. أمسك مقبض كل شريط بيد، وبسرعة اسحب الشريطين أحدهما بعيدًا عن الآخر، ستجد أنهما قد شُحِنا، وانجذبا ثانية إلى يديك، فهل سيتنافران؟ لا، سيتجاذبان الآن؛ لأن لهما شحنتين مختلفتين، إلا أنهما لن يبقيا مشحونين فترة طويلة؛ لأنهما سيلتصقان معًا.

هل الشريط هو الجسم الوحيد الذي يمكنك شحنه؟ للإجابة عن هذا السؤال ألصق مرة أخرى شريطًا لاصقًا على سطح الطاولة، وضع شريطًا آخر فوقه. علّم الشريط السفلي بالرمز B، والشريط العلوي بالرمز T، ثم اسحب الشريطين معًا. فرّغهما من الشحنات، ثم اسحب أحدهما بعيدًا عن الآخر، وألصق طرف مقبض كل منهما في طرف طاولة أو أسفل غطاء مصباح أو أي جسم مماثل. ينبغي أن يعلّقا بحيث يتدليان إلى أسفل، على أن تكون بينهما مسافة قصيرة. أخيرًا ادلك مشطًا بلاستيكيًّا أو قلم حبر بقطعة صوف، وقرّبه إلى أحد الشريطين، ثم قرّبه إلى الشريط الآخر. ستلاحظ أن أحد الشريطين ينجذب إلى المشط، بينما يتنافر الآخر معه، كما هو موضح في **الشكل 2b–2**. يمكنك الآن استكشاف تفاعلات الأجسام المشحونة مع الأشرطة اللاصقة.

حاول شحن أجسام أخرى، مثل كؤوس زجاجية، وأكياس بلاستيكية. ادلكها بمواد مختلفة مثل الحرير والصوف. وإذا كان الجو جافًّا فحكّ حذاءك بالسجاد وأنت تمشي، وقرّب إصبعك إلى قطعتي الشريط اللاصق. ولاختبار الحرير أو الصوف ضع يدك في كيس بلاستيكي، وادلك الكيس بقطعة الصوف أو الحرير، ثم أخرج يدك من الكيس، وقرّبه هو والقطعة التي دلكتها إلى الشريطين اللاصقين.

ستجذب معظم الأجسام المشحونة أحد الشريطين، وتتنافر مع الآخر، ولن تجد أبدًا جسمًا يتنافر مع كلا الشريطين، إلا أنه يمكن أن تجد بعض الأجسام تجذب الشريطين؛ فمثلاً ستجد أن إصبعك يجذب كلا الشريطين، وستكتشف هذا التأثير لاحقًا في هذا الفصل.

beadaya.com | موقع بداية التعليمي

الشكل 3–2 ترتب سلسلة الدلك الكهربائي قائمة المواد من حيث الأكثر فقدًا للإلكترونات عند أعلى السهم إلى الأكثر اكتسابا للإلكترونات في ذيل السهم.

دلالة الألوان

- وضِّحت الشحنات الموجبة باللون **الأحمر**.
- وضِّحت الشحنات السالبة باللون **الأزرق**.

أنواع الشحنات يمكنك من خلال تجاربك إعداد قائمة بالأجسام المعلّمة بـ B، التي لها نفس شحنة الشريط الملصق على سطح الطاولة. كما يمكنك إعداد قائمة أخرى للأجسام المعلّمة بـ T التي لها شحنة مماثلة لشحنة الشريط العلوي. ستلاحظ أن هناك قائمتين فقط؛ لأنه لا يوجد إلا نوعان من الشحنات، أطلق عليهما بنيامين فرانكلين الشحنة الموجبة والشحنة السالبة. ووفق تسمية فرانكلين فإن المطاط والبلاستيك يشحنان عادة بشحنات سالبة عند دلكهما، أما الزجاج والصوف فيشحنان عادة بشحنات موجبة.

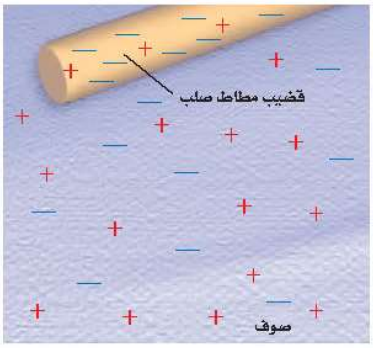
وكما لاحظت أن الشريطين غير المشحونين أصبحا مشحونين بشحنتين مختلفتين بعد سحب أحدهما بعيدًا عن الآخر، لذا يمكنك توضيح أنه عند دلك البلاستيك بالصوف يصبح البلاستيك سالب الشحنة والصوف موجب الشحنة. ولا يتكوّن نوعًا الشحنات بشكل منفصل، وإنما يتكوّنان على شكل أزواج. وتشير كل هذه التجارب إلى أن المادة بطبيعتها تحتوي على نوعين من الشحنة: موجبة وسالبة. وبطريقة معينة يمكن فصل نوعي الشحنة. ولاستكشاف ذلك أكثر يتعين عليك تعرُّف الصورة المجهرية للمادة.

النظرة المجهرية للشحنة A Microscopic View of Charge

توجد الشحنات الكهربائية في الذرات. وقد اكتشف ج.ج. طومسون عام 1897م أن المواد جميعها تحتوي على جسيمات صغيرة جدًّا سالبة الشحنة تسمى الإلكترونات. وبين عامي 1909 و 1911م اكتشف أرنست راذرفورد – تلميذ طومسون من نيوزلندا– أن هناك جسمًا مركزيًّا ذا شحنة موجبة تتركز فيه كتلة الذرة تسمى النواة. وتكون الذرة **متعادلة** عندما تكون الشحنة الموجبة في النواة مساويةً للشحنة السالبة للإلكترونات التي تدور حول النواة.

يمكن إزالة إلكترونات المدارات الخارجية للذرات المتعادلة بإضافة طاقة إليها، وعندها تصبح هذه الذرات التي تفقد إلكترونات موجبة الشحنة. وأي مادة تتكوّن من هذه الذرات الفاقدة للإلكترونات تكون موجبة الشحنة. ويمكن أن تبقى الإلكترونات المفقودة حرة غير مرتبطة، أو ترتبط مع ذرات أخرى فتصبح جسيمات سالبة الشحنة. واكتساب الشحنة – من وجهة النظر المجهرية – ما هي إلا عملية انتقال للإلكترونات.

فصل الشحنة إذا دُلك جسمان متعادلان معًا فقد يصبح كل منهما مشحونًا حسب ترتيب المواد في سلسلة الدلك الكهربائي. كما هو موضح في **الشكل 3–2**. ففي حالة دلك المطاط بالصوف – كما هو موضح في **الشكل 4–2** – تنتقل الإلكترونات من ذرات الصوف إلى ذرات المطاط. وتعمل الإلكترونات الإضافية التي اكتسبها المطاط على جعل شحنته



الشكل 4–2 عند استعمال قطعة صوف لشحن قضيب مطاط تنتقل الإلكترونات من ذرات الصوف إلى ذرات المطاط. وبهذه الطريقة يُشحن الجسمان.

الكلية سالبة، في حين تجعل الإلكترونات التي فقدها الصوف شحنته الكلية موجبة. أما المجموع الكلي للشحنة على الجسمين فيبقى هو نفسه؛ أي أن الشحنة محفوظة؛ وهذا يعني أن الشحنات المفردة لا يمكن أن تفنى أو تستحدث، وكل ما يحدث هو أن الشحنات الموجبة والشحنات السالبة تنفصلان من خلال عملية انتقال الإلكترونات.

العمليات المعقدة التي تؤثر في إطارات سيارة أو شاحنة متحركة يمكن أن تؤدي إلى أن تصبح الإطارات مشحونة. كما أن العمليات التي تحدث داخل السحب الرعدية تجعل أسفل السحابة سالب الشحنة، وأعلاها موجب الشحنة. وفي كلتا الحالتين السابقتين لا تُستحدث الشحنة، بل تنفصل.

الموصلات والعوازل Conductors and Insulators

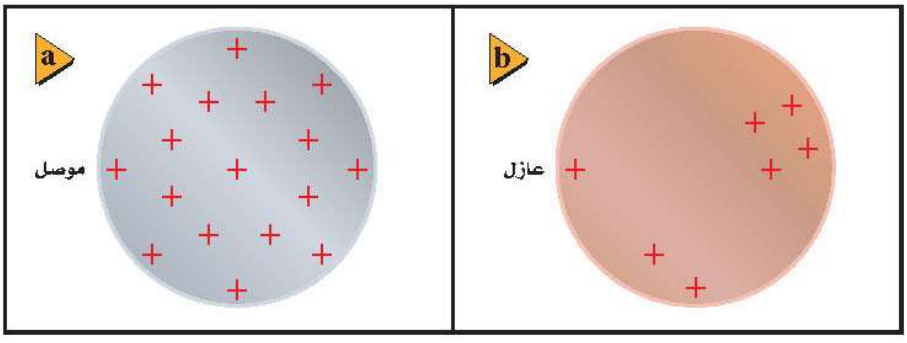
أمسك قضيبًا بلاستيكيًّا أو مشطًا من منتصفه وادلك أحد طرفيه، ستجد أن الطرف المدلوك فقط أصبح مشحونًا؛ أي أن الشحنات التي انتقلت إلى البلاستيك بقيت في المكان الذي وضِعت فيه ولم تتحرك. وتسمّى المادة التي لا تنتقل خلالها الشحنة بسهولة **مادة عازلة**. فالزجاج والخشب الجاف ومعظم المواد البلاستيكية والملابس والجو الجاف جميعها عوازل جيدة.

افترض أنك وضعت قضيبًا فلزيًّا فوق قضيب بلاستيكي معزول. فإذا لمست بعد ذلك أحد طرفي القضيب الفلزي بمشط مشحون فستجد أن الشحنة تنتشر بسرعة داخل القضيب الفلزي. وتسمى المادة التي تسمح بانتقال الشحنات خلالها بسهولة **مادة موصلة**. وتعمل الإلكترونات على نقل الشحنة الكهربائية أو توصيلها خلال الفلز. لذا تعد الفلزات موصلات جيدة؛ لأنه يوجد في كل ذرة إلكترون واحد على الأقل يمكن أن ينفصل عنها بسهولة. وتؤثر هذه الإلكترونات وكأنها تابعة لذرات الفلز جميعها وليس لذرة معينة؛ أي تتحرك هذه الإلكترونات بحرية خلال قطعة الفلز. والشكل 5–2 يقارن بين سلوك الشحنات عندما توضع على موصل، وسلوكها عندما توضع على عازل. فالنحاس والألومنيوم موصلان ممتازان؛ لذا فهما يستخدمان لنقل الكهرباء. وتعد البلازما– وهي غاز متأين بدرجة كبيرة– والجرافيت موصلين جيدين للشحنة الكهربائية.

تطبيق الفيزياء

موصل أم عازل؟

من المفيد تصنيف عنصر على أنه موصل فقط أو عازل فقط، إلا أن التصنيف قد يختلف اعتمادًا على الشكل الذي يتخذه العنصر. فالكربون مثلاً يكون عازلاً في حالة الألماس، أما في الجرافيت فيوصّل الشحنة؛ لأن ذرات الكربون في الألماس ترتبط بقوة مع أربع ذرات كربون أخرى، أما في حالة الجرافيت فتكوّن ذرات الكربون ثلاث روابط قوية، ورابطة رابعة ضعيفة تسمح للإلكترونات بحركة محدودة. لذا يكون الجرافيت أكثر موصلية من الألماس، رغم أن كليهما يتركّب من ذرات الكربون.



الشكل 5–2 تتوزع الشحنات التي توضع على موصل على كامل سطحه الخارجي (a). بينما تبقى الشحنات على العازل في المكان الذي توضع فيه (b).

الشكل 6–2 تتفرغ الشحنات الكهربائية من جسمك عند اقتراب يدك من مقبض الباب.

عندما يصبح الهواء موصلاً يعدّ الهواء عازلًا، إلا أنه تحت ظروف معيّنة تتحرك الشحنات خلاله كما لو كان موصلًا. فالشرارة الكهربائية التي تحدث بين إصبعك ومقبض الباب الفلزي بعد دلك قدميك بالسجاد تُفرّغ الشحنات من جسمك كما هو موضح في **الشكل 6–2**؛ فيصبح متعادلًا؛ لأن الشحنات الزائدة الموجودة عليه قد انفصلت عنه. وبالمثل يفرّغ البرق شحنات السحب الرعدية. وفي كلتا الحالتين يصبح الهواء موصلًا للحظات فقط. ولكنك تعرف أنه يجب أن يحتوي الموصل على شحنات حرة الحركة، فمن أين تأتي هذه الشحنات في حالة الهواء العازل؟ لكي تحدث الشرارة أو البرق يجب أن تتكوّن جسيمات مشحونة حرة الحركة في الهواء المتعادل، وفي حالة البرق تكون الشحنات الزائدة في الغيمة وعلى الأرض كبيرة بشكلٍ كافٍ لفصل الإلكترونات من جزيئات الهواء. وتتكوّن نتيجة ذلك البلازما؛ التي تتكوّن من الإلكترونات والذرات الموجبة الشحنة والذرات السالبة الشحنة، والتي تعدّ موصلًا. ويولّد تفريغ الشحنات الذي يحدث بين الأرض والسحب الرعدية – من خلال هذه الموصلات– شررًا لامعًا يسمى البرق. أما في حالة إصبعك ومقبض الباب الفلزي فيسمى تفريغ الشحنات شرارةً كهربائية.

بداية
موقع بداية التعليمي | beadaya.com

1–2 مراجعة

1. **الأجسام المشحونة** بعد دلك مشط بسترة مصنوعة من الصوف يمكنه جذب قصاصات ورق صغيرة. لماذا يفقد المشط هذه القدرة بعد عدة دقائق؟
2. **أنواع الشحنات** من خلال التجارب التي مرت في هذا الجزء، كيف يمكنك أن تعرف أيّ الشريطين B أو T موجب الشحنة؟
3. **أنواع الشحنات** كرة البيلسان كرة صغيرة مصنوعة من مادة خفيفة، مثل البوليسترين، وتكون عادة مطلية بطبقة من الجرافيت أو الألومنيوم. كيف يمكنك أن تحدّد ما إذا كانت كرة البيلسان المعلقة بخيط عازل متعادلة كهربائيًا، أو ذات شحنة موجبة، أو ذات شحنة سالبة؟
4. **فصل الشحنات** يُشحن قضيب مطاط بشحنة سالبة عند دلكه بالصوف. ماذا يحدث لشحنة الصوف؟ ولماذا؟
5. **شحن الموصلات** افترض أنك علّقت قضيبًا فلزيًّا طويلًا بخيوط حرير بحيث أصبح القضيب معزولاً، ثم لامست أحد طرفي القضيب الفلزي بقضيب زجاجي مشحون. صِفْ كيف يُشحن القضيب الفلزي، وحدد نوع الشحنات عليه.
6. **الشحن بالدلك** يمكنك شحن قضيب مطاط بشحنة سالبة بدلكه بالصوف. ماذا يحدث عند دلك قضيب نحاس بالصوف؟
7. **التفكير الناقد** يمكن أن يفترض أحدهم أن الشحنة الكهربائية تشبه الموائع تتدفق من أجسام لديها فائض في المائع إلى أجسام لديها نقص فيه. لماذا يكون نموذج التيار الثنائي الشحنة أفضل من نموذج المائع الأحادي؟

الإجابات في الصفحة التالية

2–1 مراجعة

1. **الأجسام المشحونة** بعد دلك مشط بسترة مصنوعة من الصوف يمكنه جذب قصاصات ورق صغيرة. لماذا يفقد المشط هذه القدرة بعد عدة دقائق؟

يفقد المشط شحنته في الوسط المحيط به، ويصبح متعادل من جديد.

2. **أنواع الشحنات** من خلال التجارب التي مرت في هذا الجزء، كيف يمكنك أن تعرف أيّ الشريطين B أو T موجب الشحنة؟

قرب قضيبا زجاجيا مشحونا بشحنة موجبة إلى كل من الشريطين، فيكون الشريط الذي يتنافر معه موجب الشحنة.

3. **أنواع الشحنات** كرة البيلسان كرة صغيرة مصنوعة من مادة خفيفة، مثل البوليسترين، وتكون عادة مطلية بطبقة من الجرافيت أو الألومنيوم. كيف يمكنك أن تحدّد ما إذا كانت كرة البيلسان المعلقة بخيط عازل متعادلة كهربائيًّا، أو ذات شحنة موجبة، أو ذات شحنة سالبة؟

أحضر جسما مشحونا بشحنة معلومة، ولتكن سالبة، وقربه إلى كرة البيلسان، إذا تنافرت الكرة معه فإن شحنتها تكون مشابهة لشحنة الجسم المقرب، وإذا انجذبت إليه فإن شحنتها إما تكون مخالفة لشحنة الجسم أو متعادلة. ولتحديد الشحنة الموجبة قرب قضيبا زجاجيا مشحونا بشحنة موجبة إلى كرة البيلسان فإذا تنافرا؛ فإن شحنة الكرة تكون موجبة. أما إذا انجذب أحدهما إلى الآخرفإن كرة البيلسان تكون متعادلة الشحنة.

4. **فصل الشحنات** يُشحن قضيب مطاط بشحنة سالبة عند دلكه بالصوف. ماذا يحدث لشحنة الصوف؟ ولماذا؟

يصبح الصوف موجب الشحنة، لأنه فقط الإلكترونات التي اكتسبها قضيب المطاط.

5. **شحن الموصلات** افترض أنك علّقت قضيبًا فلزيًّا طويلًا بخيوط حرير بحيث أصبح القضيب معزولاً، ثم لامست أحد طرفي القضيب الفلزي بقضيب زجاجي مشحون. صِفْ كيف يُشحن القضيب الفلزي، وحدد نوع الشحنات عليه.

يجذب قضيب الزجاج الإلكترونات من القضيب الفلزي؛ لذا يصبح الفلز موجب الشحنة، وتتوزع الشحنات عليه بانتظام.

6. **الشحن بالدلك** يمكنك شحن قضيب مطاط بشحنة سالبة بدلكه بالصوف. ماذا يحدث عند دلك قضيب نحاس بالصوف؟

لأن النحاس مادة موصلة؛ لذا يبقى متعادلاً مادام ملامساً ليدك.

7. **التفكير الناقد** يمكن أن يفترض أحدهم أن الشحنة الكهربائية تشبه الموائع تتدفق من أجسام لديها فائض في المائع إلى أجسام لديها نقص فيه. لماذا يكون نموذج التيار الثنائي الشحنة أفضل من نموذج المائع الأحادي؟

يمكن لنموذج التيار الثنائي الشحنة أن يوضح التنافر والتجاذب بطريقة أفضل، وهو يوضح أيضا كيف يمكن أن تشحن الأجسام عند دلك بعضها ببعض. في حين يشير نموذج المائع الأحادي إلى أن الشحنة يجب أن تتساوى على الأجسام المتلامسة.

موقع بداية التعليمي | bedaya.com

رابط الدرس الرقمي
www.ien.edu.sa

2–2 القوة الكهربائية Electric Force

القوى الكهربائية قوى كبيرة؛ لأنها يمكن أن تنتج بسهولة تسارعًا أكبر من التسارع الذي ينتج بفعل قوة الجاذبيـــة الأرضية. وتعلم أن القوة الكهربائية قد تكون قوة تجاذب أو قوة تنافر. أما قوة الجاذبية الأرضية فهي قوة تجاذب فقط. وعلى مر الســـنوات الماضية أجرى الكثير من العلماء محاولات عديدة لقياس القوة الكهربائية. فأجرى دانيال برنولي المعروف بأعماله المتعلّقة بالموائع عدة قياسات بسيطة عام 1760م. وبيّن هنري كافندش في سبعينيات القـــرن الثامن عشر أن القوى الكهربائية يجب أن تخضع لقانون الـــتربيع العكسي. إلا أن خجله الشديد دفعه إلى عدم نشر عمله. ولقد اكتُشِفت مخطوطاته لاحقًا بعد أكثر من قرن، بعد أن كرّر عمله علماء آخرون.

القوى المؤثرة في الأجسام المشحونة
Forces on Charged Bodies

يمكن توضيح القوى التي سبق أن لاحظتها على الأشرطة اللاصقة من خلال تعليق قضيب مطاطي صلب ذي شحنة سالبة، بحيث يدور بسهولة، كما هو موضح في **الشكل 7–2**. إذا قرّبت قضيبًا آخر ذا شحنة سالبة من القضيب المعلّق فسوف يدور القضيب المعلّق مبتعدًا؛ حيث تتنافر الشحنات السالبة على القضيبين. وليس من الضروري أن يحدث تلامس بين القضيبين حتى يظهر هذا التأثير؛ فالقوة التي تســـمى القوة الكهربائية تؤثر عن بُعد. وإذا علّقت قضيبًا زجاجيًّا مشحونًا بشحنة موجبة، ثم قرّبت إليه قضيبًا زجاجيًّا آخر مشحونًا بشـــحنة موجبة أيضًا فســـيتنافر القضيبان. أما إذا قرّبت قضيبًا مشحونًا بشحنة سالبة إلى قضيب آخر مشحون بشحنة موجبة فسيجذب كل منهما الآخر، وسيدور القضيب المعلّق مقتربًا من القضيب الآخر.

يمكن تلخيص ما توصلت إليه من تجارب الأشرطة اللاصقة وسلوك القضبان المشحونة كما يأتي:

- هناك نوعان من الشحنات الكهربائية: موجبة وسالبة.
- تؤثر الشحنات بعضها في بعض بقوى عن بُعد.
- تكون القوة أكبر عندما تكون الشحنات متقاربة.
- الشحنات المتشابهة تتنافر، والشحنات المختلفة تتجاذب.

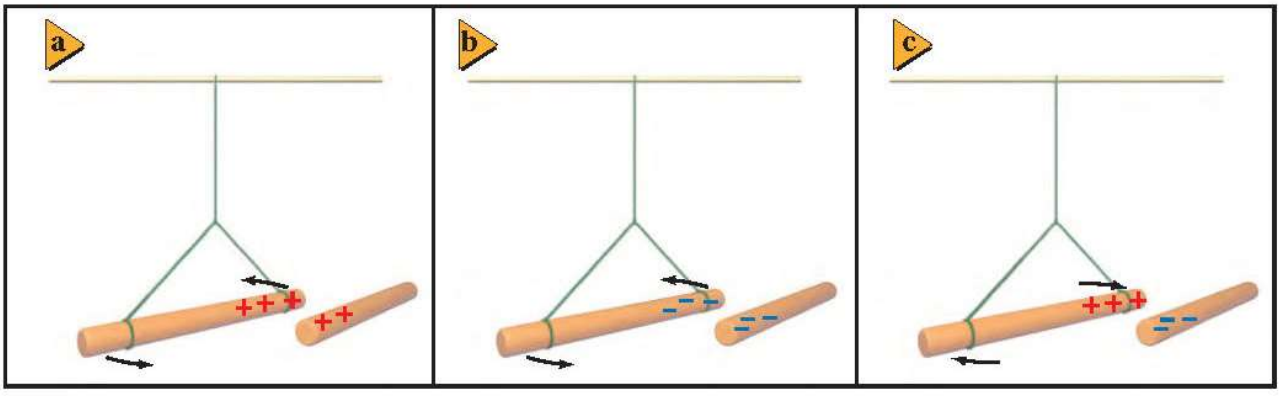
الأهداف

- **تلخّص** العلاقات بين القوى الكهربائيـــة والشـــحنات الكهربائية والبعد بينها.
- **توضّح** كيفية شحن الأجسام بطريقتي التوصيل والحث.
- **تطوّر** نموذجًا يوضّح كيف يمكن للأجسام المشحونة أن تجذب أجسامًا متعادلة.
- **تُطبق** قانـــون كولوم في حل مســـائل في بُعـــد واحد وفي بُعدين.

المفردات

الكشّاف الكهربائي
الشحن بالتوصيل
الشحن بالحث
التأريض
قانون كولوم
الكولوم
الشحنة الأساسيّة

بداية | موقع بداية التعليمي
beadaya.com



الشكل 7–2 عند تقريب قضيب مشحون إلى آخر معلّق ومشحون فإنهما يتجاذبان أو يتنافران.

لا يعد الشريط اللاصق ولا القضيب المعلّق في الهواء طريقة دقيقة أو ملائمة لتحديد الشحنة. وعوضًا عن ذلك يستخدم جهاز يسمّى **الكشّاف الكهربائي**، يتركّب من كرة فلزية مُثبّت على ساق فلزية متصلة بقطعتين فلزيتين خفيفتين رقيقتين، تسمّيان الورقتين. ويبين **الشكل 8–2** كشّافًا كهربائيًّا متعادلًا. لاحظ أن الورقتين معلّقتان بصورة حرة داخل إناء زجاجي شفاف مغلق؛ وذلك للحد من تأثير تيارات الهواء.

■ **الشكل 8–2** الكشاف الكهربائي؛ جهاز يستخدم للكشف عن الشحنات الكهربائية. في الكشاف الكهربائي المتعادل تكون الورقتان معلقتين رأسيًا بحرية، وتلامس إحداهما الأخرى.

الشحن بالتوصيل عندما يلمس قضيب مشحون بشحنة سالبة كرة كشاف كهربائي تنتقل الإلكترونات منه إلى الكرة، وتتوزع هذه الشحنات على جميع سطوح الفلز. وكما هو موضح في **الشكل 9a–2**، تشحن الورقتان بشحنات سالبة وتتنافران، لذا تنفرجان، ويصبح الكشاف الكهربائي مشحونًا. ويُسمّى شحن الجسم المتعادل بملامسته جسمًا آخر مشحونًا **الشحنَ بالتوصيل**. كما تنفرج الورقتان أيضًا عند شحن الكشاف بشحنات موجبة، فكيف يمكنك إذًا معرفة ما إذا كان الكشّاف الكهربائي مشحونًا بشحنة موجبة أم سالبة؟ يمكن تحديد نوع الشحنة بملاحظة ورقتي الكشاف الكهربائي المشحون عند تقريب قضيب مشحون بشحنة معلومة من كرته؛ إذ يزداد انفراج الورقتين أكثر عند تقريب جسم شحنته مشابهة لشحنة الكشّاف، كما في **الشكل 9b–2**، ويقل انفراج الورقتين إذا كانت شحنة الكشاف مخالفة لشحنة الجسم المُقرّب، كما في **الشكل 9c–2**.

فصل الشحنات على الأجسام المتعادلة عرفت أن الشريط اللاصق المشحون انجذب نحو إصبعك عندما قرّبته إليه. وبالطبع كان إصبعك متعادلًا كهربائيًّا؛ أي فيه عدد متساوٍ من الشحنات الموجبة والسالبة. وتعلم أيضًا أن الشحنات تتحرك بسهولة في الموصلات، كما أن القوى الكهربائية في حالة الشرارة الكهربائية حوّلت المادة العازلة إلى مادة موصلة. من كل هذه المعلومات يمكنك تطوير نموذج مناسب للقوة التي أثر بها إصبعك في الشريط.

beadaya.com | موقع بداية التعليمي

■ **الشكل 9–2** تكون ورقتا الكشاف الكهربائي المشحون بشحنة سالبة منفرجتين (a). يدفع القضيب ذو الشحنة السالبة الإلكترونات من الكرة إلى الورقتين فيزداد انفراجهما (b). يجذب القضيب ذو الشحنة الموجبة بعض الإلكترونات من الورقتين إلى الكرة فيقل انفراجهما (c).

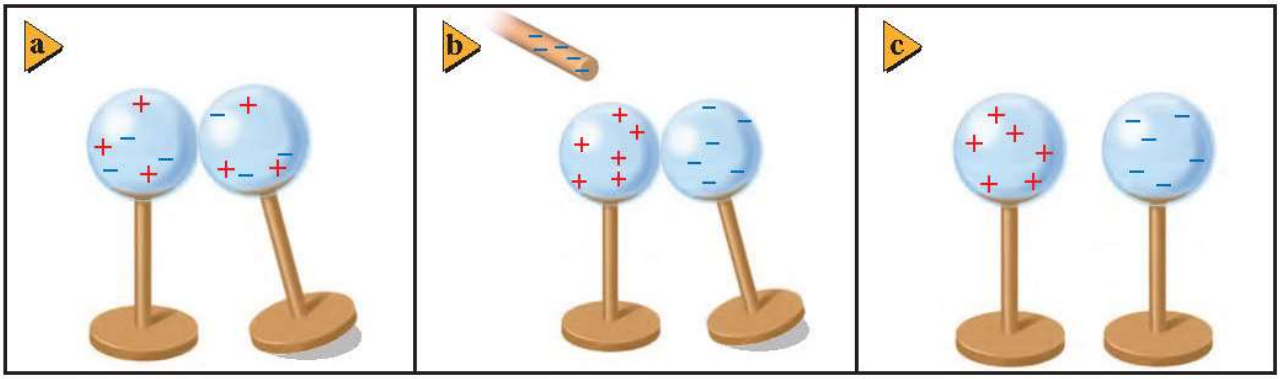
افترض أنك قرّبت إصبعك أو أي جسم غير مشحون إلى جسم شحنته موجبة. ستنجذب الشحنات السالبة في إصبعك نحو الجسم ذي الشحنة الموجبة، وتتنافر الشحنات الموجبة في إصبعك منه. ويبقى إصبعك متعادلاً كهربائيًّا، إلا أن الشحنات الموجبة فيه تُفصل عن الشحنات السالبة. وتكون القوة الكهربائية كبيرة بين الشحنات المتقاربة، لذا فإن فصل الشحنات ناتج عن قوة التجاذب بين إصبعك والجسم المشحون. كما أن القوة التي أثرت بها المسطرة البلاستيكية المشحونة في قصاصات الورق المتعادلة هي نتيجة لعملية فصل الشحنات بعضها عن بعض على الجسم نفسه.

ويمكن للشحنات السالبة في أسفل الغيوم الرعدية أن تؤدي أيضًا إلى فصل الشحنات على سطح الأرض؛ حيث تجذب الشحنات الموجبة على الأرض نحو سطح الأرض أسفل الغيمة. وتكون القوى الكهربائية المتبادلة بين الشحنات الموجودة على الغيوم والشحنات الموجودة على سطح الأرض قادرة على فصل الجزيئات إلى جسيمات موجبة وأخرى سالبة الشحنة. وتكون هذه الجسيمات المشحونة حرة الحركة، وتنشئ مسارًا موصلًا من الأرض إلى الغيوم. ويحدث البرق الذي تلاحظه عندما تنتقل صاعقة بسرعة 500,000 km /h تقريبًا على امتداد المسار الموصل بين الأرض والغيمة، فتؤدي إلى تفريغ شحنات الغيمة.

الشحن بالحث افترض أن كرتين فلزيتين متماثلتين متعادلتين ومعزولتين قد تلامستا، كما في **الشكل 10a–2**. عند تقريب قضيب مشحون إلى إحداهما، كما في **الشكل 10b–2**، تنتقل الإلكترونات من الكرة الأولى إلى الكرة الثانية البعيدة عن القضيب؛ بسبب قوة التنافر مع الشحنات السالبة التي على القضيب، وتصبح سالبة الشحنة، في حين تصبح الكرة الأولى (القريبة من القضيب) موجبة الشحنة. وإذا فُصلت الكرتان إحداهما عن الأخرى والقضيب قريب فإنهما ستُشحنان بشحنتين متساويتين مقدارًا ومختلفتين نوعًا، كما هو موضح في **الشكل 10c–2**. وتسمى عملية شحن الجسم دون ملامسته **الشحن بالحث**.

تستطيع شحن جسم واحد بالحث عن طريق **التأريض**؛ وهو عملية توصيل جسم بالأرض للتخلص من الشحنات الفائضة، حيث تعدّ الأرض كرة كبيرة، ولها قدرة على استيعاب كمية كبيرة من الشحنة دون أن تظهر عليها آثار هذه الشحنة. فإذا لامس جسم مشحون الأرض فإن كل شحناته تنتقل غالبًا إلى الأرض.

beadaya.com | موقع بداية التعليمي



الشكل 10–2 من طرائق شحن الأجسام الشحنُ بالحث، حيث يبدأ بتلامس كرتين متعادلتين (a)، ثم يقرّب قضيب مشحون إليهما (b). ثم تفصل الكرتان إحداهما عن الأخرى أولًا، ثم يُبعد القضيب المشحون(c). تتساوى الشحنات على الكرتين في المقدار، ولكنها تختلف في النوع.

■ **الشكل 11–2** يحث قضيب سالب الشحنة على فصل الشحنات على الكشّاف الكهربائي (a). يتم تأريض الكشّاف الكهربائي عن طريق لمسه، فتنتقل الإلكترونات السالبة من الكشّاف الكهربائي إلى الأرض (b). يُفصل تأريض الكشاف قبل إبعاد القضيب، فيصبح الكشّاف الكهربائي موجب الشحنة (c).

فإذا قُرّب قضيب مشحون بشحنة سالبة إلى كرة كشّاف كهربائي متعادل، كما في **الشكل 11a–2**، فإن الشحنات السالبة (الإلكترونات) تتنافر مع شحنات القضيب، وتتحرك مبتعدة نحو الورقتين، مع بقاء الشحنات الموجبة على الكرة. وإذا أرّضنا (لامسنا) الطرف الآخر للكرة البعيد عن القضيب المشحون فإن الإلكترونات تنتقل من الكشاف إلى الأرض إلى أن تتعادل الورقتان؛ أي تنطبقا، كما في **الشكل 11b–2**. وبفصل التأريض ثم إبعاد القضيب المشحون تصبح شحنة الكشاف موجبة، كما في **الشكل 11c–2**. ويمكن استخدام التأريض أيضًا مصدرًا للإلكترونات؛ فعند تقريب قضيب موجب الشحنة إلى كرة كشّاف كهربائي مع توصيل الطرف المقابل للكرة بالأرض فإن الإلكترونات تنجذب من الأرض نحو الكشّاف الكهربائي، ويصبح سالب الشحنة. وفي هذه الخطوة تكون الشحنات المستحثة على الكشّاف الكهربائي مخالفة لشحنة الجسم المؤثر. ولأن القضيب المشحون لم يلمس كرة الكشّاف الكهربائي فإن شحنة القضيب لم تنتقل، ولذلك يمكن استخدامه أكثر من مرة لشحن الأجسام بالحث.

beadaya.com | موقع بداية التعليمي

قانون كولوم Coulomb's Law

■ **الشكل 12–2** استعمل كولوم جهازًا مماثلا لقياس القوة بين كرتين، A و B. ولاحظ انحراف الكرة A مع تغيّر المسافة بين A وB.

عرفت أن القوة الكهربائية تؤثر بين جسمين مشحونين أو أكثر. ففي تجاربك التي أجريتها على الشريط اللاصق وجدت أن القوة تعتمد على البعد بين الجسمين المشحونين؛ فكلما قرّبت المشط المشحون أكثر إلى الشريط ازدادت القوة الكهربائية. ووجدت أيضًا أنه كلما زادت شحنة المشط زادت القوة الكهربائية. فكيف يمكنك تغيير كمية الشحنة بطريقة محكمة أو بطريقة مسيطر عليها؟ حلّ الفيزيائي الفرنسي شارل كولوم هذه المشكلة عام 1785م؛ حيث استخدم الأدوات الموضحة في **الشكل 12–2**، وهي قضيب عازل في طرفيه كرتان صغيرتان موصلتان A و A`، ومعلّق من منتصفه بسلك رفيع. ووضعت كرة مماثلة B ملامسة للكرة A، وعند ملامسة جسم مشحون لهاتين الكرتين تنتقل الشحنات من الجسم المشحون إلى الكرتين وتتوزع عليهما بالتساوي، حيث تكتسبان الكمية نفسها من الشحنة؛ لأن لهما مساحة السطح الخارجي نفسها. ولأن رمز الشحنة هو q لذا يمكن تمييز مقادير الشحنات على الكرتين بالرمزين: q_A و q_B.

تعتمد القوة الكهربائية على المسافة درس كولوم كيفية اعتماد القوة الكهربائية بين كرتين مشحونتين على المسافة بينهما. ففي البداية قاس كولوم بدقة مقدار القوة اللازمة لِلَيّ (فَتْل) سلك التعليق بزاوية معينة، ثم وضع شحنتين متساويتين على الكرتين A و B، وبدأ يغيّر المسافة r بينهما. عندها حرّكت القوة الكهربائية الكرة A، مما أدى إلى ليّ سلك التعليق، وبقياس انحراف الكرة A تمكن كولوم من حساب قوة التنافر بينهما، وأثبت كولوم أن القوة الكهربائية بين الكرتين تتناسب عكسيًّا مع مربع المسافة بين مركزيهما.

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

تعتمد القوة الكهربائية على مقدار الشحنة لاستقصاء كيفية اعتماد القوة الكهربائية على مقدار الشحنة، تعيَّن على كولوم تغيير الشحنات على الكرات بطريقة مدروسة. فشحن أولاً الكرتين A و B بالتساوي، كما فعل ذلك سابقًا، ثم اختار كرة غير مشحونة C، مساحة سطحها الخارجي مماثلة للكرة B. عند ملامسة الكرة C للكرة B تتقاسم الكرتان الشحنة الموجودة على الكرة B فقط. لذا تكون شحنة الكرة B مساوية لنصف شحنة الكرة A. وبعد أن ضبط كولوم موضع الكرة B بحيث أصبحت المسافة r بين الكرتين A و B كما كانت في السابق تمامًا لاحظ أن القوة بين الكرتين A و B أصبحت تساوي نصف قيمتها السابقة؛ أي أن القوة الكهربائية تتناسب طرديًّا مع مقدار شحنتي الجسمين.

$$F \alpha q_A q_B$$

وبعد قياسات كثيرة مماثلة لخّص كولوم النتائج في قانون عُرف **بقانون كولوم**؛ ينص على أن مقدار القوة الكهربائية المتبادلة بين الشحنتين q_A و q_B اللتين تفصلهما مسافة مقدارها r يتناسب طرديًّا مع مقدار كل من الشحنتين، وعكسيًّا مع مربع المسافة بينهما.

$$F \alpha \frac{q_A q_B}{r^2}$$

وحدة الشحنة الكهربائية: الكولوم يصعب قياس كمية الشحنة على جسم مباشرة. وقد بيّنت تجارب كولوم أنه يمكن ربط كمية الشحنة بالقوة الكهربائية، لذا تمكّن كولوم من تعريف كمية معيارية أو قياسية للشحنة بدلالة مقدار القوة التي تولّدها. وسمّيت هذه الوحدة المعيارية للشحنة الكهربائية في النظام العالمي للوحدات SI **الكولوم** C. والكولوم الواحد يساوي مقدار شحنة 6.24×10^{18} إلكترون أو بروتون، ومقدار شحنة الإلكترون المفرد تساوي 1.6×10^{-19} C، ويسمّى مقدار شحنة الإلكترون **الشحنة الأساسية**. ويمكن للصاعقة أن تحمل شحنة مقدارها 5 C إلى 25 C. وحتى المواد الصغيرة –ومنها قطعة العملة المعدنية– تحتوي شحنة سالبة قد تصل إلى 10^6 C، وهذه المقدار الهائل من كمية الشحنة السالبة لا ينتج غالبًا أي تأثيرات خارجية؛ لأن العملة متعادلة ومتزنة بكمية شحنة موجبة مساوية لكمية الشحنة السالبة. أما إذا كانت الشحنات غير متعادلة فستتولد قوى كهربائية، وحتى لو كانت الشحنة صغيرة، 10^{-9} C مثلًا، فإنها يمكن أن تولّد قوى كهربائية كبيرة.

تجربة

الحث والتوصيل

استعمل بالونًا وكشّافًا كهربائيًّا لاستقصاء الشحن بالحث وبالتوصيل.

1. **توقع** ماذا يحدث إذا شحنت بالونًا بدلكه بالصوف، ثم قرّبته إلى قرص كشّاف كهربائي متعادل؟
2. **توقع** ماذا يحدث إذا لامس البالون قرص الكشّاف الكهربائي؟
3. **اختبر** توقعاتك.

التحليل والاستنتاج

4. **صف** نتائجك.
5. **وضح** حركة الورقتين في كل خطوة من خطوات التجربة، على أن تضمّن الشرح رسومًا توضيحية.
6. **صف** النتائج إذا استعملت الصوف لشحن الكشّاف الكهربائي.

الإجابات في الصفحة التالية

beadaya.com

تجـــربة

التحليل والاستنتاج

4. صف نتائجك.

-

يجب أن يشير الطلاب إلى أن ورقتي الكشاف تنفرجان عند تقريب جسم مشحون إلى قرصه، وكذلك عند ملامسة قرص الكشاف للجسم المشحون.

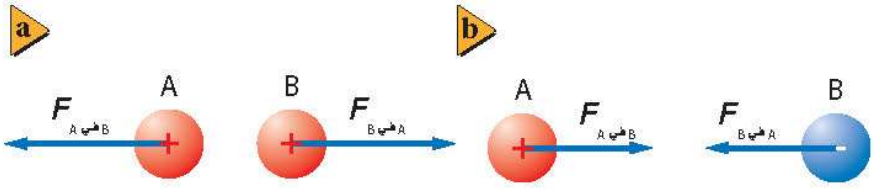
5. وضح حركة الورقتين في كل خطوة من خطوات التجربة، على أن تضمّن الشرح رسومًا توضيحية.

في الجزء الأول (البالون بالقرب من الكشاف المتعادل) تتنافر الشحنات السالبة التي على البالون مع الإلكترونات التي عل قرص الكشاف، فتدفعها نحو ورقتي الكشاف. وفي هذه الحالة لا يكتسب الكشاف شحنات أو يفقد شحنات، ولكن انتقلت الشحنات السالبة إلى الورقتين بالحث. أما عندما يلامس البالون قرص الكشاف فتنتقل شحنات سالبة من البالون إلى الكشاف، فيشحن الكشاف بشحنة سالبة.

6. صف النتائج إذا استعملت الصوف لشحن الكشّاف الكهربائي.

إذا استخدم الصوف المدلوك فإن الإلكترونات تنجذب من الورقتين إلى قرص الكشاف، لذا تصبح شحنة ورقتي الكشاف مو جبة بالحث، فتنفرجان. وعند ملامسة الصوف لقرص الكشاف تنتقل الإلكترونات من الكشاف إلى الصوف فتصبح ، سحنة الكشاف موجبة.

بداية
beadaya.com | موقع بداية التعليمي



■ **الشكل 13–2** قاعدة تحديد اتجاه القوة هي: الشحنات المتشابهة تتنافر؛ والشحنات المختلفة تتجاذب.

ووفق قانون كولوم يمكن كتابة مقدار القوة الكهربائية المؤثرة في الشحنة q_A والناتجة بفعل تأثير الشحنة q_B التي تقع على بعد r منها على الشكل الآتي:

قانون كولوم

$$F = K\frac{q_A q_B}{r^2}$$

القوة الكهربائية المتبادلة بين شحنتين كهربائيتين تساوي ثابت كولوم مضروبًا في حاصل ضرب مقداري الشحنتين مقسومًا على مربع المسافة بينهما.

إذا قيست الشحنات بوحدة الكولوم، والمسافة بالأمتار، والقوة بالنيوتن، فإن ثابت كولوم K يساوي $9.0\times10^9\ \mathrm{N.m^2/C^2}$.

يُمكِّننا قانون كولوم من حساب مقدار القوة التي تؤثر بها الشحنة q_A في الشحنة q_B، كما يُمكِّننا أيضًا من حساب مقدار القوة التي تؤثر بها الشحنة q_B في الشحنة q_A. وهاتان القوتان متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه. ويمكنك ملاحظة هذا التطبيق على القانون الثالث لنيوتن في الحركة عمليًّا عندما تقرّب شريطين لاصقين مشحونين بشحنتين متماثلتين أحدهما إلى الآخر؛ حيث يؤثر كل منهما بقوة في الآخر.

القوة الكهربائية كمية متجهة، مثلها في ذلك مثل جميع القوى الأخرى في الطبيعة، لذا تحتاج متجهات القوة إلى تحديد المقدار والاتجاه. ولأن معادلة قانون كولوم تزوِّدنا بمقدار القوة فقط، فإننا بحاجة إلى تحديد اتجاهها، ويتم ذلك برسم مخطّط للشحنات وتفسير العلاقات بينها بدقة. فإذا قرِّب جسمان A و B مشحونان بشحنتين موجبتين أحدهما إلى الآخر فإن كلًّا منهما سيؤثر في الآخر بقوة تنافر، كما في **الشكل 13a–2**. أما إذا كانت شحنة الجسم B مثلًا سالبة فستكون القوة التي يؤثر بها كل منهما في الآخر قوة تجاذب، كما موضح في **الشكل 13b–2**.

استراتيجيات حل المسألة

مسائل القوة الكهربائية

استخدم هذه الخطوات لإيجاد مقدار القوة المتبادلة بين الشحنات، واتجاهها.

1. ارسم مخطّطًا للنظام مبيّنًا فيه المسافات والزوايا جميعها بمقياس رسم مناسب.
2. ارسم متجهات القوى في النظام.
3. استخدم قانون كولوم لإيجاد مقدار القوة.
4. استعمل مخطّطك والعلاقات المثلثية لإيجاد اتجاه القوة.
5. نفّذ العمليات الجبرية على كل من الأرقام والوحدات. وتحقّق من أن الوحدات متوافقة مع المتغيرات في السؤال.
6. تأمل إجابتك جيدًا. هل هي منطقية؟

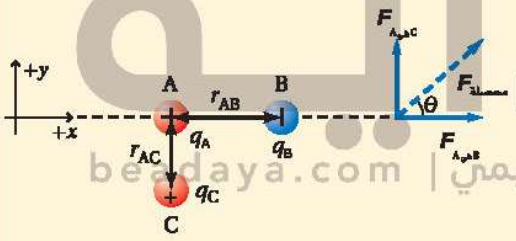
مثـــال 1

قانون كولوم في بعدين إذا كانت الكرة A مشحونة بشحنة مقدارها $+6.0\ \mu C$، وموضوعة على بُعد $4.0\ cm$ عن يسار كرة أخرى B مشحونة بشحنة سالبة مقدارها $3.0\ \mu C$ فأجب عما يأتي:

a. احسب مقدار واتجاه القوة التي تؤثر بها الكرة B في الكرة A.

b. إذا وضعت كرة ثالثة C مشحونة بشحنة مقدارها $+1.5\ \mu C$ مباشرة أسفل الكرة A، وعلى بُعد $3.0\ cm$ منها، فما مقدار القوة المحصلة المؤثرة في الكرة A؟

1 تحليل المسألة ورسمها



- أنشئ المحاور الإحداثية، وارسم الكرات عليها.
- بيّن المسافات الفاصلة بين الكرات، وسمِّها، ودوّنها على الرسم.
- ارسم متجهات القوة، وسمِّها، ودوّنها على الرسم.

المعلوم		المجهول
$r_{AB}= 4.0\ cm$	$q_A=+6.0\ \mu C$	$F_{\text{A في B}}=?$
$r_{AC}= 3.0\ cm$	$q_B=-3.0\ \mu C$	$F_{\text{A في C}}=?$
	$q_C=+1.5\ \mu C$	$F_{\text{محصلة}}=?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. احسب مقدار القوة التي تؤثر بها الكرة B في الكرة A.

$$F_{\text{A في B}} = K\frac{q_A q_B}{r^2_{AB}}$$

بالتعويض عن
$q_B=3.0\ \mu C$، $q_A=6.0\ \mu C$
$r_{AB}= 4.0\ cm$

$$=\left(9.0\times10^{9}\ N\frac{m^2}{C^2}\right)\frac{(6.0\times10^{-6}\ C)\ (3.0\times10^{-6}\ C)}{(4.0\times10^{-2}\ m)^2}$$

$$= 1.0\times10^{2}\ N$$

بداية | beadaya.com | موقع بداية التعليمي

لأن الكرتين A و B مختلفتان في نوع الشحنة فسيكون اتجاه القوة التي تؤثر بها الكرة B في الكرة A إلى اليمين.

b. احسب مقدار القوة التي تؤثر بها الكرة C في الكرة A.

$$F_{\text{A في C}} = K\frac{q_A q_C}{r^2_{AC}}$$

$$= \left(9.0 \times 10^9 \text{N}.\frac{\text{m}^2}{\text{C}^2}\right)\frac{(6.0 \times 10^{-6}\text{C})\ (1.5 \times 10^{-6}\text{C})}{(3.0 \times 10^{-2}\text{m})^2}$$

بالتعويض عن
$q_A = 6.0\ \mu\text{C}$ ، $q_c = 1.5\ \mu\text{C}$
$r_{AC} = 3.0\ \text{cm}$

$$= 9.0 \times 10^1 \text{N}$$

للكرتين A و C شحنتان متماثلتان، لذلك ستتنافران. وسيكون اتجاه القوة التي تؤثر بها الكرة C في الكرة A إلى أعلى.

أوجد ناتج الجمع الاتجاهي لـ $F_{\text{A في B}}$ و $F_{\text{A في C}}$ لإيجاد $F_{\text{المحصلة}}$ المؤثرة في الكرة A.

$$F_{\text{المحصلة}} = \sqrt{F^2_{\text{A في B}} + F^2_{\text{A في C}}}$$

$$= \sqrt{(1.0 \times 10^2 \text{N})^2 + (9.0 \times 10^1 \text{N})^2}$$

بالتعويض عن $F_{A\text{ في }B} = 1.0 \times 10^2\ \text{N}$
$F_{A\text{ في }C} = 9.0 \times 10^1\ \text{N}$

$$= 130\ \text{N}$$

دليل الرياضيات

معكوس الجيب، ومعكوس جيب التمام، ومعكوس الظل

$$\tan\theta = \frac{F_{\text{A في C}}}{F_{\text{A في B}}}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{F_{\text{A في C}}}{F_{\text{A في B}}}\right)$$

بالتعويض عن $F_{A\text{ في }B} = 1.0 \times 10^2\ \text{N}$
$F_{A\text{ في }C} = 9.0 \times 10^1\ \text{N}$

$$= \tan^{-1}\left(\frac{9.0 \times 10^1 \text{N}}{1.0 \times 10^2 \text{N}}\right)$$

$$= 42^\circ$$

$F_{\text{محصلة}} = 130\ \text{N}, 42^\circ$ فوق المحور x بزاوية مقدارها

بداية
موقع بداية التعليمي | beadaya.com

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** $(\text{N.m}^2/\text{C}^2)\ (\text{C})\ (\text{C})\ /\text{m}^2 = \text{N}$)، تُبسّط الوحدات فتصبح نيوتن.
- **هل للاتجاه معنى؟** الشحنات المتشابهة تتنافر، والشحنات المختلفة تتجاذب.
- **هل الجواب منطقي؟** يتفق مقدار القوة المحصلة مع مقداري القوتين.

مسائل تدريبية

8. تفصل مسافة مقدارها 0.30 m بين شحنتين؛ الأولى سالبة مقدارها 2×10^{-4} C، والثانية موجبة مقدارها 8.0×10^{-4} C. ما القوة المتبادلة بين الشحنتين؟
9. إذا أثرت الشحنة السالبة 6.0×10^{-6} C بقوة جذب مقدارها 65 N في شحنة ثانية تبعد عنها مسافة 0.050 m فما مقدار الشحنة الثانية؟
10. في المثال 1، إذا أصبحت شحنة الكرة B تساوي $+3.0\ \mu$C فارسم الحالة الجديدة للمثال، وأوجد القوة المحصلة المؤثرة في الكرة A.
11. وضعت كرة A شحنتها $+2.0\times10^{-6}$ C عند نقطة الأصل، في حين وضعت كرة B مشحونة بشحنة سالبة مقدارها 3.6×10^{-6} C عند الموقع +0.60 m على المحور x. أما الكرة C المشحونة بشحنة مقدارها $+4.0\times10^{-6}$ C فقد وضعت عند الموقع +0.80 m على المحور x. احسب القوة المحصلة المؤثرة في الكرة A.
12. في المسألة السابقة، أوجد القوة المحصلة المؤثرة في الكرة B.

تذكّر دائمًا عند استخدام قانون كولوم أن هذا القانون يُطبّق فقط على الشحنات النقطية أو التوزيعات الكروية المنتظمة للشحنة. وهذا يعني أنه يمكن التعامل مع كرة مشحونة وكأن كل شحنتها مجمّعة في مركزها، فقط إذا كانت الشحنة موزعة بالتساوي على سطحها أو على حجمها. فإذا كانت الكرة موصلة وقُرِّبت إليها شحنة أخرى فإن الشحنات على الكرة ستتجاذب أو تتنافر مع هذه الشحنة؛ فلا تؤثر شحنة الكرة كما لو كانت مجتمعة في مركزها. لذا يجب أخذ أبعاد الكرتين المشحونتين والبعد بين مركزيهما بعين الاعتبار قبل تطبيق قانون كولوم. والمسائل المطروحة في هذا الكتاب تفترض أن أبعاد الكرات المشحونة صغيرة، ويبعد بعضها عن بعض مسافات كافية، بحيث يمكن اعتبارها شحنات نقطية، ما لم يذكر خلاف ذلك. أما إذا كانت الأجسام المشحونة أسلاكًا طويلة أو ألواحًا مستوية فيجب تعديل قانون كولوم ليناسب توزيعات غير نقطية من الشحنات.

beadaya.com

حل المسألة 8:

$$F = K\frac{q_A q_B}{r_{AB}^{\ 2}} = \frac{(9.0\times10^{9}\ \mathrm{N\cdot m^2/C^2})(2.0\times10^{-4}\mathrm{C})(8.0\times10^{-4}\mathrm{C})}{(0.30\ \mathrm{m})^2}$$
$$= 1.6\times10^{4}\ \mathrm{N}$$

حل المسألة 9:

$$F = K\frac{q_A q_B}{r_{AB}^{\ 2}}$$
$$q_B = \frac{F r_{AB}^{\ 2}}{K q_A} = \frac{(65\ \mathrm{N})(0.050\ \mathrm{m})^2}{(9.0\times10^{9}\ \mathrm{N\cdot m^2/C^2})(6.0\times10^{-6}\mathrm{C})}$$
$$= 3.0\times10^{-6}\mathrm{C}$$

تتمة الإجابات في الصفحة التالية

10. في المثال 1، إذا أصبحت شحنة الكرة B تساوي $+3.0\ \mu C$ فارسم الحالة الجديدة للمثال، وأوجد القوة المحصلة المؤثرة في الكرة A.

مقادير جميع القوى تبقى كما هي، في حين يتغير اتجاه القوة إلى 42° فوق محور السينات السالب، أي 138° مع محور السينات الموجب.

11. وضعت كرة A شحنتها $+2.0\times10^{-6}\ C$ عند نقطة الأصل، في حين وضعت كرة B مشحونة بشحنة سالبة مقدارها $3.6\times10^{-6}\ C$ عند الموقع $+0.60\ m$ على المحور x. أما الكرة C المشحونة بشحنة مقدارها $+4.0\times10^{-6}\ C$ فقد وضعت عند الموقع $+0.80\ m$ على المحور x. احسب القوة المحصلة المؤثرة في الكرة A.

الاتجاه : نحو اليمين

$$F_{A\text{ على }B} = K\frac{q_A q_B}{r_{AB}^2} = \frac{(9.0\times10^9\ N\cdot m^2/C^2)(2.0\times10^{-6}C)(3.6\times10^{-6}C)}{(0.60\ m)^2} = 0.18\ N$$

الاتجاه: نحو اليسار

$$F_{A\text{ على }C} = K\frac{q_A q_C}{r_{AC}^2} = \frac{(9.0\times10^9\ N\cdot m^2/C^2)(2.0\times10^{-6}C)(4.0\times10^{-6}C)}{(0.80\ m)^2} = 0.1125\ N$$

$$F_{\text{المحصلة}} = F_{A\text{ على }B} - F_{A\text{ على }C} = (0.18\ N) - (0.1125\ N) = 0.0675\ N$$ نحو اليمين

تابع إلى الصفحة التالية

12. في المسألة السابقة، أوجد القوة المحصلة المؤثرة في الكرة B.

$$F_{\text{B على A}} = K\frac{q_A q_B}{r_{AB}^2}$$

$$F_{\text{B على C}} = K\frac{q_A q_B}{r_{AB}{}^2}$$

$$F_{\text{المحصلة}} = F_{\text{B على C}} - F_{\text{B على A}}$$

$$= K\frac{q_B q_C}{r_{BC}{}^2} - K\frac{q_A q_B}{r_{AB}{}^2}$$

$$= (9.0 \times 10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2)\frac{(3.6 \times 10^{-6}\text{C})(4.0 \times 10^{-6}\text{C})}{(0.20\ \text{m})^2} - (9.0 \times 10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2)$$

$$\frac{(2.0 \times 10^{-6}\text{C})(3.6 \times 10^{-6}\text{C})}{(0.60\ \text{m})^2}$$

$$= 3.1\ \text{N}$$ باتجاه اليمين

beadaya.com | موقع بداية التعليمي

الشكل 14–2 الرماد المتصاعد من المداخن نتيجة ثانوية لاحتراق الفحم. ويمكن استعمال مرشّحات الترسيب الكهروسكوني لتقليل هذا الرماد.

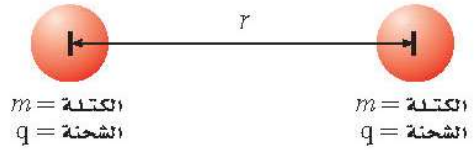
تطبيقات القوى الكهروسكونية
Applications of Electrostatic Forces

هناك العديد من تطبيقات القوى الكهربائية على الجسيمات. وتستطيع هذه القوى مثلاً تجميع السناج (السواد الناتج عن الدخان) من المداخن، ومن ثم تحدّ من تلوث الهواء، كما هو موضح في **الشكل 14–2**، كما يمكن شحن قطرات الطلاء الصغيرة جدًّا بالحث، واستعمالها لطلاء السيارات وأجسام أخرى بصورة منظمة وموحدة جدًّا. وتستخدم آلات التصوير الفوتوجرافي الكهرباء الساكنة لوضع الحبر الأسود على الورق، بحيث يتم نسخ صورة طبق الأصل للوثيقة الأصلية. ويُعدّ تجمع الشحنات الساكنة سببًا لحدوث التلف. فمثلاً تجمع الشحنات الساكنة على فيلم قد يكون سببًا في جذب الغبار عليه مما يسبب تلفه، كما يمكن أن تتعطل معدات إلكترونية عند تفريغ الشحنة الساكنة. لذا تصمّم التطبيقات في هذه الحالات لتجنّب تراكم الشحنة الساكنة، وإزالة أي شحنة قد تتراكم بطريقة آمنة.

مسألة تحفيز

يبين الشكل المجاور كرتين لهما الكتلة نفسها m، وشحنة كل منهما $+q$، والبعد بين مركزيهما r.

1. اشتق تعبيرًا للشحنة q التي يجب أن تكون على كلتا الكرتين لتكونا في حالة اتزان. هذا يعني أن هناك اتزانًا بين قوتي التجاذب والتنافر.
2. إذا تضاعفت المسافة بين الكرتين فكيف يؤثر هذا في قيمة الشحنة q التي حدّدتها في المسألة السابقة؟ وضّح ذلك.
3. إذا كانت كتلة كل من الكرتين $1.50\,kg$ فحدّد قيمة الشحنة التي ينبغي أن تكون موجودة على كل منهما للحفاظ على حالة الاتزان.



تتمة الإجابات في الصفحة التالية

مسألة تحفيز

يبين الشكل المجاور كرتين لهما الكتلة نفسها m، وشحنة كل منهما $+q$، والبعد بين مركزيهما r.

1. اشتق تعبيرًا للشحنة q التي يجب أن تكون على كلتا الكرتين لتكونا في حالة اتزان. هذا يعني أن هناك اتزانًا بين قوتي التجاذب والتنافر.

قوة التجاذب بين الكرتين هي قوة الجاذبية، في حين قوة التنافر هي قوة كهربائية، لذا فيعبر عنها بالتساوي:

$$F_g = G\frac{m_A m_B}{r^2} = K\frac{q_A q_B}{r^2} = F_e$$

شحنة كل من الكرتين وكتلتهما متساوية، وتختصر المسافة من التعبير الرياضي لذا:

$$Gm^2 = \mathbf{k}q^2, \text{ and}$$

$$q = m\sqrt{\frac{G}{K}}$$

$$= m\sqrt{\frac{(6.67 \times 10^{-11}\ \mathrm{N \cdot m^2/kg^2})}{(9.0 \times 10^{9}\ \mathrm{N \cdot m^2/C^2})}}$$

$$= (8.61 \times 10^{-11}\mathrm{C/kg})\mathrm{m}$$

2. إذا تضاعفت المسافة بين الكرتين فكيف يؤثر هذا في قيمة الشحنة q التي حدّدتها في المسألة السابقة؟ وضّح ذلك.

المسافة بين الكرتين لا تؤثر على مقدار الشحنة q على كل من الكرتين لأن؛ كل من القوتين يتناسب عكسيا مع مربع المسافة بين الكرتين، والمسافة تختصر من التعبير الرياضي.

3. إذا كانت كتلة كل من الكرتين 1.50 kg فحدّد قيمة الشحنة التي ينبغي أن تكون موجودة على كل منهما للحفاظ على حالة الاتزان.

$$q = (8.61 \times 10^{-11}\mathrm{C/kg})(1.50\ \mathrm{kg})$$

$$= 1.29 \times 10^{-10}\mathrm{C}$$

2- مراجعة

13. **القوة والشحنة** ما نوع العلاقة بين القوة الكهربائية والشحنة؟ صِف القوة عندما تكون الشحنات متشابهة، وعندما تكون مختلفة.

14. **القوة والمسافة** ما نوع العلاقة بين القوة الكهربائية والمسافة؟ وكيف تتغير القوة إذا زادت المسافة بين شحنتين إلى ثلاثة أمثالها؟

15. **الكشّاف الكهربائي** عند شحن كشّاف كهربائي ترتفع ورقتاه الفلزيتان لتشكّلا زاوية معينة، وتبقى الورقتان محافظتين على تلك الزاوية. لماذا لا ترتفع الورقتان أكثر من ذلك؟

16. **شحن كشّاف كهربائي** اشرح كيف يمكن شحن كشّاف كهربائي بشحنة موجبة باستخدام:

a. قضيب موجب.

b. قضيب سالب.

17. **جذب الأجسام المتعادلة** ما الخاصيتان اللتان تفسّران انجذاب جسم متعادل إلى كل من الأجسام المشحونة بشحنة موجبة والأجسام المشحونة بشحنة سالبة؟

8. **الشحن بالحث** ماذا يحدث عند شحن كشّاف كهربائي بالحث، وإبعاد قضيب الشحن قبل فصل تأريض الكرة؟

9. **القوى الكهربائية** كرتان A وB مشحونتان، المسافة بين مركزيهما r. إذا كانت شحنة الكرة A تساوي $+3\ \mu C$ وشحنة الكرة B تساوي $+9\ \mu C$ فقارن بين القوة التي تؤثر بها الكرة A في الكرة B والقوة التي تؤثر بها الكرة B في الكرة A.

20. **التفكير الناقد** افترض أنك تختبر صحة قانون كولوم باستخدام كرة بلاستيكية صغيرة موجبة الشحنة وكرة فلزية كبيرة موجبة الشحنة. فوفق قانون كولوم، تتناسب القوة مع $\frac{1}{r^2}$؛ حيث تمثل r المسافة بين مركزي الكرتين. وعند تقريب الكرتين إحداهما إلى الأخرى وُجد أن القوة بينهما أصغر مما هو متوقع من قانون كولوم. وضح ذلك.

بداية
موقع بداية للتعليم
beadaya.com

حل السؤال 13:

تتناسب القوة الكهربائية طرديا مع مقدار كل شحنة. الشحنات المتشابهة تتنافر، والشحنات المختلفة تتجاذب

حل السؤال 14 :

تتناسب القوة عكسيا مع مربع المسافة بين الشحنتين. القوة الجديدة ستساوي $\frac{1}{9}$ القوة الأصلية .

حل السؤال 15 :

في أثناء ابتعاد الورقتين إحداهما عن الأخرى تتناقص القوة الكهربائية بينهما إلى أن تتزن مع قوة الجاذبية الأرضية فتتطبق الورقتان.

حل السؤال 16 :

a- لامس القضيب للكشاف الكهربائي، فتنتقل الشحنات السالبة إلى القضيب، تاركة الكشاف الكهربائي مشحونا بشحنة موجبة .

b- قرب القضيب السالب إلى الكشاف الكهربائي دون لمسه، ثم اعمل على تأريض الكشاف الكهربائي بلمسه بإصبعك للسماح للإلكترونات بالإنتقال إلى إصبعك، ثم أزل التأريض وأبعد القضيب عن الكشاف الكهربائي.

تابع إلى الصفحة التالية

17. **جذب الأجسام المتعادلة** ما الخاصيتان اللتان تفسّران انجذاب جسم متعادل إلى كل من الأجسام المشحونة بشحنة موجبة والأجسام المشحونة بشحنة سالبة؟

ينتج فصل الشحنات الكهربائية عن قوة التجاذب بين الشحنات المختلفة وقوة التنافر بين الشحنات المتشابهة. حيث تتحرك شحنات الجسم المتعادل باتجاه الشحنات المخالفة لها بالنوع في الجسم الأخر. والعلاقة العكسية بين القوة الكهربائية والمسافة بين الشحنات تبين أن الشحنات الأقرب تتأثر بقوة أكبر. فعند تقريب جسم مشحون من آخر متعادل تتباعد الشحنات المشابهة لشحنة الجسم المشحون وتنجذب الشحنات المخالفة لشحنة ذلك الجسم

8. **الشحن بالحث** ماذا يحدث عند شحن كشّاف كهربائي بالحث، وإبعاد قضيب الشحن قبل فصل تأريض الكرة؟

تعود الشحنات التي فرغت إلى الأرض؛ لذا يبقى الكشاف الكهربائي متعادلا.

9. **القوى الكهربائية** كرتان A وB مشحونتان، المسافة بين مركزيهما r. إذا كانت شحنة الكرة A تساوي $+3\ \mu C$ وشحنة الكرة B تساوي $+9\ \mu C$ فقارن بين القوة التي تؤثر بها الكرة A في الكرة B والقوة التي تؤثر بها الكرة B في الكرة A.

القوتان متساويتان في المقدارو متعاكستان في الاتجاه.

20. **التفكير الناقد** افترض أنك تختبر صحة قانون كولوم باستخدام كرة بلاستيكية صغيرة موجبة الشحنة وكرة فلزية كبيرة موجبة الشحنة. فوفق قانون كولوم، تتناسب القوة مع $\frac{1}{r^2}$؛ حيث تمثل r المسافة بين مركزي الكرتين. وعند تقريب الكرتين إحداهما إلى الأخرى وُجد أن القوة بينهما أصغر مما هو متوقع من قانون كولوم. وضح ذلك.

بعض الشحنات على الكرة الفلزية ستتنافر مع الشحنات على الكرة البلاستيكية ، مما يؤدي إلى تحركها إلى الجهة البعيدة عن الكرة البلاستيكية، وهذا يجعل المسافة الفعلية بين الشحنات أكبر من المسافة بين مركزي الكرتين.

بداية
beadaya.com | موقع بداية التعليمي

مختبر الفيزياء

الأجسام المشحونة

لاحظت في هذا الفصل ودرست ظواهر تنتج عن فصل الشحنات الكهربائية. وتعلّمت أن كلًّا من المطاط الصلب والبلاستيك يميل إلى أن تصبح شحنته سالبة بعد الدلك، في حين يميل كل من الصوف والزجاج إلى يصبح موجب الشحنة. ولكن ماذا يحدث إذا دلكت جسمين معًا يميل كل منهما إلى أن يصبح سالب الشحنة؟ هل تنتقل الإلكترونات؟ وإذا كان الأمر كذلك فأي المادتين ستكتسب إلكترونات، وأيهما ستفقدها؟ ستصمّم في هذه التجربة إجراءات وخطوات لمزيد من الاستقصاءات حول الشحنات الموجبة والسالبة.

سؤال التجربة

كيف يمكنك اختبار قدرة المواد على اكتساب أو فقد الشحنات السالبة؟

الأهداف

- **تلاحظ** أن المواد المختلفة تميل إلى أن تُشحن بشحنة موجبة أو تُشحن بشحنة سالبة.
- **تقارن** بين قدرة المواد على اكتساب الشحنات السالبة والشحنات الموجبة والاحتفاظ بها.
- **تفسّر البيانات** لترتّب قائمة بالمواد من الأكثر ميلاً لتصبح سالبة الشحنة إلى الأكثر ميلاً لتصبح موجبة الشحنة.

احتياطات السلامة

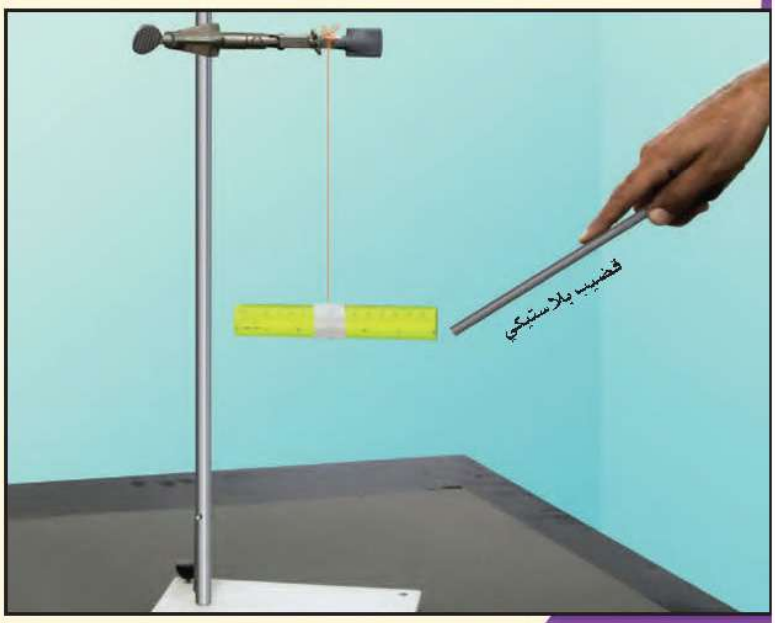
المواد والأدوات

مسطرة بلاستيكية طولها 15 cm
خيط
حامل
شريط لاصق
مواد قابلة للشحن، مثل: قضيب مطاطي، وقضيب بلاستيكي، وقضيب زجاجي، وأنبوب البولي فينيل كلورايد PVC، وأنبوب نحاسي، وأنبوب فولاذي، وأقلام رصاص، وأقلام حبر، وقطعة صوف، وقطعة حرير، وغلاف طعام بلاستيكي، وأكياس بلاستيكية، وورق زبد، وورق ألومنيوم.

موقع بدايات التعليمي

الخطوات

1. انظر إلى الصورة المجاورة لتستفيد منها في تعليق المسطرة البلاستيكية. يُفضّل غسل المسطرة بالماء والصابون، وتجفيفها تمامًا قبل كل استعمال، وخصوصًا إذا كان الجو رطبًا. اربط الخيط بمنتصف المسطرة، على أن يفصل بينه وبين المسطرة لفة إلى ثلاث لفات من الشريط اللاصق.
2. استخدم الحالتين الآتيتين مرجعًا لأنواع الشحنات التي يمكن أن تكون للمواد: (1) عند دلك مسطرة بلاستيكية بقطعة صوف تشحن المسطرة البلاستيكية بشحنة سالبة، أما قطعة الصوف فتشحن بشحنة موجبة. (2) عند دلك مسطرة بلاستيكية بغلاف طعام بلاستيكي تشحن المسطرة البلاستيكية بشحنة موجبة، أما غلاف الطعام البلاستيكي فيشحن بشحنة سالبة.



جدول البيانات					
المادة1	المادة2	الشحنة على المسطرة (0، −، +)	ملاحظات على حركة المسطرة	الشحنة على المادة1 (0، −، +)	الشحنة على المادة 2 (0، −، +)
صوف	قضيب مطاطي	-	تتنافر مع قضيب المطاط	+	-
كيس بلاستيكي	قضيب مطاطي	-	تنجذب إلى قضيب المطاط	-	+
أنبوب PVC	صوف	-	تتنافر مع أنبوب PVC	-	+

3. صمّم خطوات وإجراءات لمعرفة أي الأجسام تميل إلى أن تُشحن بشحنة سالبة، وأيها تميل إلى أن تُشحن بشحنة موجبة. جرّب مجموعات مختلفة من المواد، ودوّن ملاحظاتك في جدول البيانات.
4. طوّر اختبارًا لتكشف ما إذا كان جسم ما متعادلًا أم لا. وتذكّر أن المسطرة المشحونة قد تنجذب إلى جسم متعادل إذا عملت على فصل شحنات هذا الجسم بالحث.
5. تأكد من أن معلمك قد تفحّص تجربتك، وعليك الحصول على موافقته قبل متابعة تنفيذ النشاط.

التحليل

1. **لاحظ واستنتج** عندما قرّبت مواد مشحونة بعضها إلى بعض، هل لاحظت وجود قوة بين هذه المواد المشحونة؟ صِف هذه القوة.
   - **صياغة النماذج** أنشئ رسمًا لتوزيع الشحنة على المادتين في إحدى المحاولات. واستخدم الرسم لتوضيح لماذا أثرت المادتان إحداهما في الأخرى بتلك الطريقة خلال تجربتك؟
   - **استخلص النتائج** أي المواد احتفظت بشحنة فائضة، وأيها لم تحتفظ بالشحنة جيدًا؟
4. **استخلص النتائج** أي المواد لها ميل لتشحن بشحنة سالبة، وأيها لها ميل لتشحن بشحنة موجبة؟
5. **فسّر البيانات** استخدم جدول بياناتك لتعدّ قائمة بالميول النسبية للمواد لتصبح موجبة الشحنة أو سالبتها.

الاستنتاج والتطبيق

1. وضّح المقصود بتعبير الشحنة الفائضة، وعدم التوازن في الشحنة عند الإشارة إلى الكهرباء الساكنة.
2. هل تبقى الشحنة الفائضة في المادة أم تنتقل مع مرور الوقت؟
3. هل يمكنك إكمال هذا النشاط باستخدام قضيب فلزي بدلاً من المسطرة البلاستيكية المعلّقة؟ وضّح إجابتك.
4. تستعمل الأغلفة البلاستيكية الشفافة لتغطية أوعية الطعام، فلماذا يلتصق الغلاف البلاستيكي الشفاف بعضه ببعض بعد سحبه عن أوعية الطعام التي كان يغطيها؟

التوسع في البحث

راجع المعلومات في كتابك حول الكشّاف الكهربائي. وأعِد تصميم النشاط على أن تستعمل الكشّاف الكهربائي بدلًا من المسطرة البلاستيكية المعلّقة؛ لتفحص نوع الشحنة التي على الجسم.

الفيزياء في الحياة

للشاحنات غالبًا حزام مطاطي أو سلسلة متدلية منها تتصل بسطح الطريق. لماذا؟

حل التحليل 1:

نعم إنها قوية بقدرٍ كافٍ لتحريك المسطرة.

حل التحليل 2:

يمكن أن يبين الرسم مسطرة معلقة مرسوماً عليها شحنة سالبة تتنافر مع قضيب مطاط مرسوم عليه شحنة سالبة أيضاً.

حل التحليل 3:

تحتفظ العوازل الجيدة ومنها البلاستيك والمطاط بالشحنة، أما المواصلات الجيدة ومنها معظم الفلزات فلا تحتفظ بها.

تتمة الإجابات في الصفحة التالية

التحليل

4. **استخلص النتائج** أي المواد لها ميل لتشحن بشحنة سالبة، وأيها لها ميل لتشحن بشحنة موجبة؟

الصوف والزجاج والنايلون والحرير جميعها لها قابلية لتُشحن بشحنة موجبة، أما البوليسترين والمطاط والبلاستيك فلها قابلية لتشحن بشحنة سالبة.

5. **فسّر البيانات** استخدم جدول بياناتك لتعدّ قائمة بالميول النسبية للمواد لتصبح موجبة الشحنة أو سالبتها.

يمكن ترتيب عينة قائمة من السالب إلى الموجب وفق التصنيف التالي: أنبوب PVC، غلاف طعام بلاستيكي، مسطرة بلاستيكية، مطاط، قطن، حرير، صوف، زجاج.

الاستنتاج والتطبيق

1. وضّح المقصود بتعبير الشحنة الفائضة، وعدم التوازن في الشحنة عند الإشارة إلى الكهرباء الساكنة.

هناك جسيات موجبة الشحنة في أجسام شحنتها الكلية سالبة، كا توجد جسيات سالبة الشحنة في أجسام شحنتها الكلية موجبة. إذا كان لجسم أو مساحة معينة من جسم شحنة محصلة فهذا يعني أنه له أحد نوعي الشحنة بكمية أكبر من النوع الآخر.

2. هل تبقى الشحنة الفائضة في المادة أم تنتقل مع مرور الوقت؟

عل الرغم من أن الهواء عازل جيد للكهرباء إلا أن بخار الماء الموجود في الهواء يساعد عل تفريغ الشحنة الكهربائية من المادة، لذا فإن المواد في التجربة تفقد شحنتهامع مرور الوقت.

3. هل يمكنك إكمال هذا النشاط باستخدام قضيب فلزي بدلاً من المسطرة البلاستيكية المعلّقة؟ وضّح إجابتك.

لا، فالمادة الموصلة، كالقضيب الفلزي، لا تحتفظ بالشحنة في موقع واحد. ولأن فصل الشحنات يحدث بسهولة بالحث في موصل متعادل فإن القضيب الفلزي سينجذب إلى أي جسم مشحون سواء أكان موجب الشحنة أم سالب الشحنة.

4. تستعمل الأغلفة البلاستيكية الشفافة لتغطية أوعية الطعام، فلماذا يلتصق الغلاف البلاستيكي الشفاف بعضه ببعض بعد سحبه عن أوعية الطعام التي كان يغطيها؟

عند سحب الغلاف البلاستيكي من لفافته، يحدث فيه عدم توازن للشحنة، وهذه العملية تشبه ما حدث عند سحبك شريطين لاصقين أحدهما عن الآخر. وهذا يؤدي إلى نشوء قوة تجاذب بين الأجزاء المختلفة للغلاف البلاستيكي.

التوسع في البحث

راجع المعلومات في كتابك حول الكشّاف الكهربائي. وأعِد تصميم النشاط على أن تستعمل الكشّاف الكهربائي بدلًا من المسطرة البلاستيكية المعلّقة؛ لتفحص نوع الشحنة التي على الجسم.

يجب أن يعرف الطلاب كيف يشحنون كشافا كهربائيا. وما إن يشحن الكشاف الكهربائي بشحنة معلومة فإنه يتعين عليهم وصف حركة ورقتيه الناتجة عن تقريب أجسام مشحونة بشحنة مماثلة لشحنة الكشاف مقارنة مع حركتهما الناتجة عن تقريب أجسام مشحونة بشحنة مخالفة لشحنة الكشاف.

الفيزياء في الحياة

للشاحنات غالبًا حزام مطاطي أو سلسلة متدلية منها تتصل بسطح الطريق. لماذا؟

تساعد على تصريف الشحنات التي يمكن أن تتراكم عندما تتدحرج الإطارات على الطريق

المركبة الفضائية والكهرباء الساكنة Spacecraft and Static Electricity

معظم الأجسام على الأرض لا تتراكم عليها شحنات كهربائية ساكنة كبيرة؛ وذلك بسبب ملامسة سطوح هذه الأجسام لطبقة رطبة تعمل على نقل الشحنات من الأرض أو إليها؛ حيث يمكن للأرض استيعاب أي كمية من الشحنات، كما تعلّمت في هذا الفصل. أما في الفضاء فلا توجد رطوبة، كما أن الأرض بعيدة، لذا تصطدم الجسيمات المشحونة التي تنطلق خارجة من الشمس أو تلك الموجودة في طبقة الأيونوسفير بالمركبة الفضائية وتلتصق بها، فتشحن سطح المركبة الفضائية بآلاف الفولتات.

البلازما والشحن البلازما إحدى حالات المادة، وتتكون من إلكترونات حرة وأيونات موجبة. تكون المركبة الفضائية في مدارها محاطة بسحابة رقيقة من هذه البلازما. وتتحرك الإلكترونات في البلازما بسهولة أكثر من الأيونات الموجبة الضخمة، لذا يميل سطح المركبة الفضائية إلى جذب الإلكترونات، فيحدث تراكم للشحنة السالبة. وتجذب هذه الشحنة السالبة بعض الأيونات الموجبة الثقيلة، التي تصطدم بالمركبة الفضائية فتلحق الضرر بسطحها.

هناك صعوبة إضافية على متن *محطة الفضاء الدولية*؛ ناجمة عن صفّ الألواح الشمسية التي تحوّل الطاقة الشمسية إلى كهرباء. فعندما تزوّد هذه الألواح محطة الفضاء بالطاقة يصبح جهد سطح المركبة قريبًا من جهد الألواح الشمسية. ونتيجة لذلك قد يحدث قوس كهربائي (تفريغ كهربائي مستمر في صورة شرر متكرر الحدوث) بين محطة الفضاء والبلازما المحيطة بها.

عواقب تكوّن القوس درجة حرارة الأقواس الكهربائية المتكوّنة كبيرة جدًّا، كما أنها تحمل تيارًا كهربائيًّا كبيرًا، لذا يمكنها أن تُشعل الصواريخ الرجعية قبل أوان تشغيلها، ويمكنها تفجير براغي التثبيت، وتتداخل مع المعدات الإلكترونية الخاصة بتشغيل المركبة الفضائية. كما أن الألواح الشمسية معرّضة بصورة خاصة لضرر القوس الكهربائي. وإضافة إلى الأضرار التي قد تلحق بمكوّنات المركبة الفضائية فإن تراكم الشحنة قد يعرّض طاقم المركبة إلى الخطر في أثناء سيرهم في الفضاء.

لتفريغ فرق الجهد وحماية المركبة والطاقم يجب أن يوصل السطح الخارجي لمحطة الفضاء بسحابة البلازما المحيطة به؛ وذلك بموصل كهربائي، يسمى قواطع البلازما. يبدأ التوصيل على متن المحطة في مكان تأين غاز الزينون -المتدفق من مستودع في وحدة قواطع البلازما PCU- بواسطة تيار كهربائي. ويحدث هذا التأين عند مجمّع الكاثود (القطب السالب). ويكون الزينون المتأين في حالة البلازما، ويخرج من المركبة عن طريق مجمّع الكاثود. ويعمل تيار البلازما الموصل على وصل المركبة بسحابة البلازما المحيطة بها، مما يؤدي إلى خفض فرق الجهد إلى مستويات آمنة.

وحدة قواطع البلازما

تطبيقات مستقبلية قد تصمّم المركبة الفضائية المستقبلية بدمج قواطع البلازما في نظام الدفع. ففي صاروخ البلازما المغناطيسية ذي الدفع النوعي المتغير مثلًا قد يستخدم عادم البلازما الناتج لتوفير الربط الكهربائي بين المركبة الفضائية والبلازما المحيطة بها. ويعتقد العلماء أن هذا النوع من الصواريخ سيستخدم في المستقبل للسفر بين الكواكب.

موقع بوابة التعليم
bawabatalta3leem.com

التوسع

1. **طبّق** ما الغرض من استخدام قواطع البلازما؟ وإلى أي مدى تشبه استخدام إصبعك في تأريض الكشّاف الكهربائي؟
2. **ابحث** كيف يمكن للعلماء معرفة مقدار الشحنة على سطح *محطة الفضاء الدولية*؟

الإجابات في الصفحة التالية

التوسع

1. طبّق ما الغرض من استخدام قواطع البلازما؟ وإلى أي مدى تشبه استخدام إصبعك في تأريض الكشّاف الكهربائي؟

توفر قواطع البلازما مسارا موصلا للشحنات، ويمكن معادلة فرق الجهد من خلال تدفق الشحنات عل امتداد هذا المسار. عندما تلمس قرص الكشاف الكهربائي بإصبعك فإنك بذلك تكون مسارا للإلكترونات لكي تتدفق من الكشاف الكهربائي أو إليه.

2. ابحث كيف يمكن للعلماء معرفة مقدار الشحنة على سطح محطة الفضاء الدولية؟

ستختلف أبحاث الطلاب. إحدى الطرائق التي يستخدمها العلماء هي نشر مجس الجهد العائم FPP، حيث يستطيع هذا الجهاز تقدير فرق الجهد بين سطح المركبة الفضائية والبلازما المحيطة بها.

بداية
beadaya.com | موقع بداية التعليمي

الفصل 2
دليل مراجعة الفصل

2-1 الشحنة الكهربائية Electric Charge

المفردات

- الكهرباء الساكنة (الكهروسكونية)
- الذرة المتعادلة
- مادة عازلة
- مادة موصلة

المفاهيم الرئيسة

- هناك نوعان من الشحنات الكهربائية: الشحنات الموجبة والشحنات السالبة، وتفاعلات هذه الشحنات معًا توضح التجاذب والتنافر الذي لوحظ في الأشرطة اللاصقة.
- الشحنة الكهربائية لا تفنى ولا تستحدث؛ أي أنها محفوظة. والشحن ما هو إلا عملية فصل للشحنات، وليس إنتاج شحنات كهربائية جديدة.
- يمكن شحن الأجسام عن طريق نقل الإلكترونات؛ فالمناطق التي فيها فائض في الإلكترونات يكون صافي شحنتها سالبًا، أما المناطق التي فيها نقص في الإلكترونات فيكون صافي شحنتها موجبًا.
- الشحنات التي تضاف إلى جزء أو موقع ما من مادة عازلة تبقى على ذلك الموقع أو الجزء. ومن المواد العازلة الزجاج، والخشب الجاف، والمواد البلاستيكية، والهواء الجاف.
- الشحنات التي تضاف إلى مادة موصلة تتوزع بسرعة على سطح الجسم كاملاً. ومن المواد الموصلة الجرافيت، والفلزات، والمادة عندما تكون في حالة البلازما.
- تحت ظروف معيَّنة، يمكن أن تنتقل شحنات خلال مادة معروفة على أنها مادة عازلة. ويعدّ البرق الذي يتحرك خلال الهواء أحد الأمثلة على ذلك.

2-2 القوة الكهربائية Electric Force

المفردات

- الكشّاف الكهربائي
- الشحن بالتوصيل
- الشحن بالحث
- التأريض
- قانون كولوم
- الكولوم
- الشحنة الأساسية

المفاهيم الرئيسة

- عند شحن كشّاف كهربائي تؤدي القوة الكهربائية إلى انفراج ورقتيه.
- يمكن شحن جسم ما بالتوصيل بملامسته جسمًا آخر مشحونًا.
- يحث جسم مشحون شحناتِ موصلٍ متعادلٍ على الانفصال عند تقريبه إليه، وتحدث هذه العملية نتيجة قوة التجاذب بين الجسم المشحون والموصل المتعادل.
- لشحن جسم موصل بالحث يقرّب إليه جسم مشحون، فيؤدي ذلك إلى انفصال شحنات الجسم الموصل المراد شحنه؛ أي تتجمّع الشحنات الموجبة عند أحد الطرفين، والشحنات السالبة عند الطرف الآخر.
- التأريض عملية التخلص من الشحنات الفائضة عن طريق ملامسة الجسم للأرض. ويستخدم التأريض في عمليات شحن كشّاف كهربائي بالحث.
- ينص قانون كولوم على أن القوة بين جسيمين مشحونين تتناسب طرديًّا مع حاصل ضرب مقداري شحنتيهما وعكسيًّا مع مربع المسافة بينهما. $F = \mathrm{K}\frac{q_A q_B}{r^2}$

لتحديد اتجاه القوة تذكر القاعدة الآتية: الشحنات المتشابهة تتنافر، والشحنات المختلفة تتجاذب.

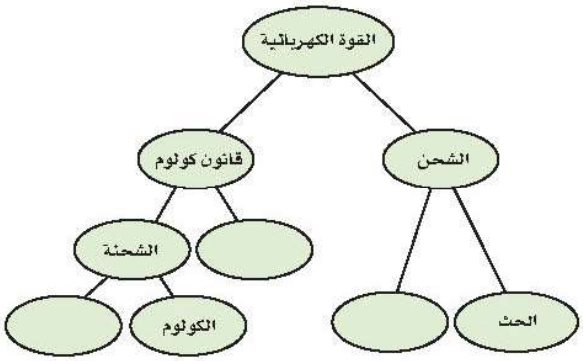
- وحدة الشحنة في النظام الدولي للوحدات SI هي الكولوم. والكولوم الواحد C هو مقدار شحنة 6.24×10^{18} إلكترون أو بروتون. والشحنة الأساسية هي شحنة البروتون أو الإلكترون، وتساوي 1.6×10^{-19} C.

beadaya.com

الفصل 2 التقويم

خريطة المفاهيم

21. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات الآتية: التوصيل، المسافة، الشحنة الأساسية.



إتقان المفاهيم

22. إذا مشّطت شعرك في يوم جاف فسوف يُشحن المشط بشحنة موجبة. هل يمكن أن يبقى شعرك متعادلاً؟ وضّح إجابتك. (1– 2)

23. أعدّ قائمة ببعض المواد العازلة والمواد الموصلة. (1– 2)

24. ما الخاصية التي تجعل الفلز موصلًا جيدًا، والمطاط عازلًا جيدًا؟ (1– 2)

25. **غسالة الملابس** عندما نخرج الجوارب من مجفّفة الملابس تكون أحيانًا ملتصقة بملابس أخرى. لماذا؟ (2– 2)

26. **الأقراص المدمجة** لماذا يجذب قرص مدمج الغبار إذا مسحته بقطعة قماش نظيفة؟ (2– 2)

27. **عملات معدنية** مجموع شحنة جميع إلكترونات عملة مصنوعة من النيكل تصل إلى $10^6 C$. هل يخبرنا هذا بشيء عن صافي الشحنة على هذه العملة؟ وضح إجابتك. (2– 2)

28. كيف تؤثر المسافة بين شحنتين في القوة المتبادلة بينهما؟ وإذا قلّت المسافة وبقي مقدار الشحنتين كما هو فماذا يحدث للقوة؟ (2– 2)

29. اشرح كيف يمكنك شحن موصل بشحنة سالبة إذا كان لديك قضيب موجب الشحنة فقط. (2– 2)

تطبيق المفاهيم

30. فيم تختلف شحنة الإلكترون عن شحنة البروتون؟ وفيم تتشابهان؟

31. كيف يمكنك أن تحدّد ما إذا كان جسم ما موصلاً أم لا، باستخدام قضيب مشحون وكشّاف كهربائي؟

32. قُرّب قضيب مشحون إلى مجموعة كرات بلاستيكية صغيرة جدًّا، فانجذبت بعض الكرات إلى القضيب، إلا أنها لحظة ملامستها للقضيب اندفعت مبتعدة عنه في اتجاهات مختلفة. فسّر ذلك.

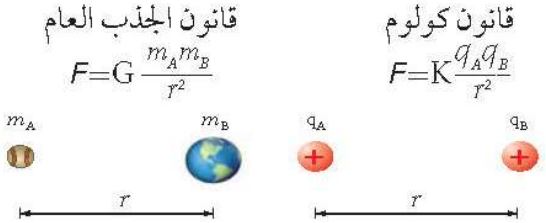
33. **البرق** يحدث البرق عادة عندما تنتقل الشحنات السالبة في الغيوم إلى الأرض. فإذا كان سطح الأرض متعادلاً فما الذي يوفر قوة الجذب المسؤولة عن سحب الإلكترونات نحو الأرض؟

34. وضّح ما يحدث لورقتي كشّاف كهربائي مشحون بشحنة موجبة عند تقريب قضيب مشحون بالشحنات الآتية إليه، مع مراعاة عدم لمس القضيب للكشّاف الكهربائي:

a. شحنة موجبة.

b. شحنة سالبة.

35. يبدو أن قانون كولوم وقانون نيوتن في الجذب العام متشابهان، كما هو موضح في **الشكل 15–2**. فيم تتشابه القوة الكهربائية وقوة الجاذبية؟ وفيم تختلفان؟

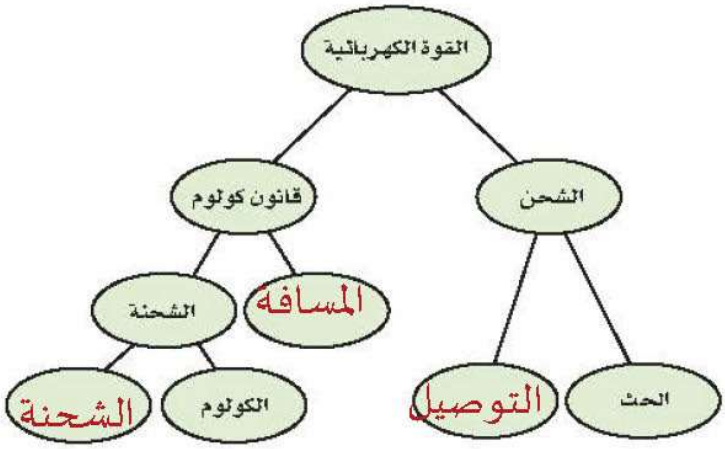


■ **الشكل 15–2** (الرسم ليس وفق مقياس رسم)

الإجابات في الصفحة التالية

خريطة المفاهيم

21. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات الآتية: التوصيل، المسافة، الشحنة الأساسية.



الأساسية

إتقان المفاهيم

22. إذا مشّطت شعرك في يوم جاف فسوف يُشحن المشط بشحنة موجبة. هل يمكن أن يبقى شعرك متعادلاً؟ وضّح إجابتك. (2-1)

لا، فوفق مفهوم حفظ الشحنة فإن شعرك يجب أن يصبح سالب الشحنة.

23. أعدّ قائمة ببعض المواد العازلة والمواد الموصلة. (2-1)

ستختلف إجابات الطلاب، ولكنها قد تتضمن العوازل: الهواء الجاف والخشب، والبلاستيك والزجاج والملابس، والماء المنزوع الأيونات.
والموصلات: الفلزات وماء الصنبور وجسمك.

24. ما الخاصية التي تجعل الفلز موصلًا جيدًا، والمطاط عازلًا جيدًا؟ (2-1)

تحتوي الفلزات على إلكترونات حرة، أما المطاط فلا يحتوي إلكترونات حرة؛ لأن قوة الإرتباط بين الإلكترونات والنواة كبيرة جدا.

25. غسالة الملابس عندما نخرج الجوارب من مجففة الملابس تكون أحيانًا ملتصقة بملابس أخرى. لماذا؟ (2-2)

شحنت بالدلك مع الملابس الأخرى، لذا فهي تنجذب إلى الملابس المتعادلة أو التي لها شحنة مخالفة.

26. الأقراص المدمجة لماذا يجذب قرص مدمج الغبار إذا مسحته بقطعة قماش نظيفة؟ (2-2)

إن عملية دلك القرص المدمج CD تؤدي إلى شحنه، فيجذب جسيمات متعادلة، كجسيمات الغبار.

27. عملات معدنية مجموع شحنة جميع إلكترونات عملة مصنوعة من النيكل تصل إلى 10^6C. هل يخبرنا هذا بشيء عن صافي الشحنة على هذه العملة؟ وضح إجابتك. (2-2)

لا، إن صافي الشحنة هو الفرق بين الشحنات الموجبة والسالبة. فيبقى صافي الشحنة على قطعة العملة المعدنية صفرا.

28. كيف تؤثر المسافة بين شحنتين في القوة المتبادلة بينهما؟ وإذا قلّت المسافة وبقي مقدار الشحنتين كما هو فماذا يحدث للقوة؟ (2-2)

تتناسب القوة الكهربائية عكسيا مع مربع المسافة بين الشحنتين فعندما تقل المسافة ويبقى مقدار الشحنتين كما هو دون تغيير، فإن القوة تزداد بما يتناسب مع مربع المسافة.

29. اشرح كيف يمكنك شحن موصل بشحنة سالبة إذا كان لديك قضيب موجب الشحنة فقط. (2-2)

حرك الموصل بحيث يصبح قريبا من القضيب، ولكن دون أن يلامسه. صل الموصل بالأرض بوجود القضيب المشحون، ثم أزل التأريض قبل إزالة القضيب المشحون. فيكتسب القضيب شحنة سالبة.

بداية
موقع بداية التعليمي | beadaya.com

تابع إلى الصفحة التالية

تطبيق المفاهيم

30. فيم تختلف شحنة الإلكترون عن شحنة البروتون؟ وفيم تتشابهان؟

مقدار شحنة البروتون تساوي تماماً مقدار شحنة الإلكترون، ولكنها مختلفة عنها في النوع.

31. كيف يمكنك أن تحدّد ما إذا كان جسم ما موصلاً أم لا، باستخدام قضيب مشحون وكشّاف كهربائي؟

استخدْم عازلا معروفا لتمسك إحدى نهايتي الجسم بالقرب من الكشاف الكهربائي. المس النهاية الأخرى للجسم بالقضيب المشحون، إذا انفرجت ورقتا الكشاف الكهرباني فإن الجسم يكون موصلا.

32. قُرّب قضيب مشحون إلى مجموعة كرات بلاستيكية صغيرة جدًّا، فانجذبت بعض الكرات إلى القضيب، إلا أنها لحظة ملامستها للقضيب اندفعت مبتعدة عنه في اتجاهات مختلفة. فسّر ذلك.

بدايةً، تنجذب الكرات المتعادلة إلى القضيب المشحون، وعندما تلامس الكرات القضيب تكتسب شحنة مشابهة ؛ لذا فإنها تتنافر معه.

33. **البرق** يحدث البرق عادة عندما تنتقل الشحنات السالبة في الغيوم إلى الأرض. فإذا كان سطح الأرض متعادلاً فما الذي يوفر قوة الجذب المسؤولة عن سحب الإلكترونات نحو الأرض؟

الشحنة في الغيمة تتنافر مع الإلكترونات على الأرض في المنطقة المقابلة لها، مما يؤدي إلى فصل الشحنات فتصبح شحنة هذه المنطقة القريبة من الغيمة موجبة، مما يؤدي إلى ظهور قوة تجاذب.

34. وضّح ما يحدث لورقتي كشّاف كهربائي مشحون بشحنة موجبة عند تقريب قضيب مشحون بالشحنات الآتية إليه، مع مراعاة عدم لمس القضيب للكشّاف الكهربائي:

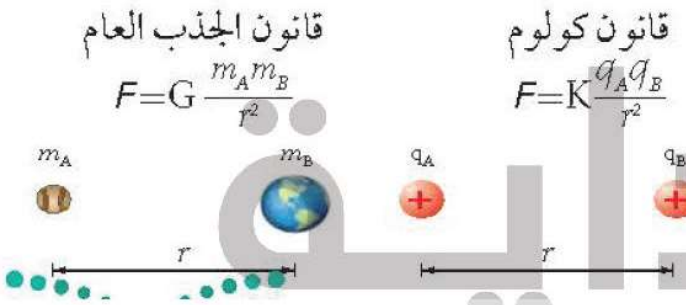
a. شحنة موجبة.

يزداد انفراج ورقتي الكشاف

b. شحنة سالبة.

يقل انفراج ورقتي الكشاف

35. يبدو أن قانون كولوم وقانون نيوتن في الجذب العام متشابهان، كما هو موضح في **الشكل 15-2**. فيم تتشابه القوة الكهربائية وقوة الجاذبية؟ وفيم تختلفان؟



التشابه: يعتمد التربيع العكسي على المسافة، تتناسب القوة طرديا مع حاصل ضرب كتلتين أو شحنتين.

الاختلاف: هناك إشارة واحدة فقط للكتلة لذا؛ فإن قوة الجاذبية دائما تجاذب، أما الشحنة فلها إشارتان لذا؛ فإن القوة الكهربائية يمكن أن تكون إما قوة تجاذب أوقوة تنافر.

بداية
موقع بداية للتعليم | headaya.com

تقويم الفصل 2

36. قيمة الثابت K في قانون كولوم أكبر كثيرًا من قيمة الثابت G في قانون الجذب العام. علامَ يدل ذلك؟

37. وَصَف هذا الفصل طريقة كولوم لشحن كرتين A و B، بحيث تكون الشحنة على الكرة B نصف الشحنة على الكرة A تمامًا. اقترح طريقة تطبقها لتصبح شحنة الكرة B مساوية ثلث شحنة الكرة A.

38. قاس كولوم انحراف الكرة A عندما كان للكرتين A وB الشحنة نفسها، وتبعد إحداهما عن الأخرى مسافة مقدارها r. ثم جعل شحنة الكرة B تساوي ثلث شحنة الكرة A. كم يجب أن تكون المسافة الجديدة بين الكرتين بحيث تنحرف الكرة A بمقدار مساوٍ لانحرافها السابق؟

39. يؤثر جسيمان مشحونان أحدهما في الآخر بقوة مقدارها 0.145 N عندما كانا على بُعد معيّن أحدهما من الآخر. فإذا قُرِّب أحدهما إلى الآخر بحيث أصبحت المسافة بينهما رُبع المسافة السابقة فما مقدار القوة المؤثرة في كل منهما؟

40. القوى الكهربائية بين الشحنات كبيرة جدًّا عند مقارنتها بقوى الجاذبية بينها، ومع ذلك لا نشعر عادة بالقوى الكهربائية بيننا وبين المحيط من حولنا، إلا أننا نشعر بتأثيرات قوى الجاذبية مع الأرض. فسّر ذلك.

إتقان حل المسائل

2–2 القوة الكهربائية

41. شحنتان كهربائيتان، q_A و q_B، تفصل بينهما مسافة r، ويؤثر كل منهما في الآخر بقوة مقدارها F. حلّل قانون كولوم، وحدّد القوة الجديدة التي تنتج تحت الظروف الآتية:

a. مضاعفة الشحنة q_A مرتين.

b. تقليل الشحنتين q_A و q_B إلى النصف.

c. مضاعفة r ثلاث أمثالها.

d. تقليل r إلى النصف.

e. مضاعفة q_A ثلاث أمثالها وr إلى المثلين.

42. **البرق** إذا نقلت صاعقة برق قوية شحنة مقدارها 25 C إلى الأرض فما عدد الإلكترونات المنقولة؟

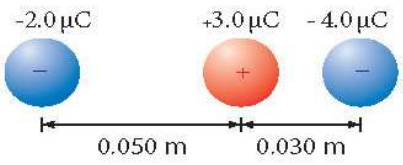
43. **الذرات** إذا كانت المسافة بين إلكترونين في ذرة 1.5×10^{-10} m فما مقدار القوة الكهربائية بينهما؟

44. شحنتان كهربائيتان مقدار كل منهما 2.5×10^{-5} C، والمسافة بينهما 15 cm. أوجد القوة التي تؤثر في كل منهما؟

45. إذا كانت القوة التي تؤثر في كل من الشحنتين 8.0×10^{-5} C و 3.0×10^{-5} C تساوي 2.4×10^{2} N فاحسب مقدار المسافة بينهما.

46. إذا أثّرت شحنتان موجبتان متماثلتان كل منهما في الأخرى بقوة تنافر مقدارها 6.4×10^{-9} N، عندما كانت إحداهما تبعد عن الأخرى مسافة 3.8×10^{-10} m، فاحسب مقدار شحنة كل منهما.

47. تُسحب شحنة موجبة مقدارها 3.0 μC بشحنتين سالبتين، كما هو موضح في **الشكل 16–2**. فإذا كانت إحدى الشحنتين -2.0 μC تبعد مسافة 0.050 m إلى الغرب، وتبعد الشحنة الأخرى -4.0 μC مسافة 0.030 m إلى الشرق فما مقدار واتجاه القوة المحصلة المؤثرة في الشحنة الموجبة؟



الشكل 16–2

الإجابات في الصفحة التالية

36. قيمة الثابت K في قانون كولوم أكبر كثيرًا من قيمة الثابت G في قانون الجذب العام. علامَ يدل ذلك؟

القوة الكهربائية أكبر كثيراً من قوة الجاذبية.

37. وَصَف هذا الفصل طريقة كولوم لشحن كرتين A و B، بحيث تكون الشحنة على الكرة B نصف الشحنة على الكرة A تمامًا. اقترح طريقة تطبقها لتصبح شحنة الكرة B مساوية ثلث شحنة الكرة A.

بعد شحن الكرتين A وB بشحنتين متساويتين اجعل الكرة B تلامس كرتين أخريين غير مشحونتين ومماثلتين لها في الحجم، وتلامس كل منها الأخرى. ستتوزع الأن شحنة الكرة B بالتساوي على الكرات الثلاث، بحيث تحمل كل منها ثلث الشحنة الكلية.

38. قاس كولوم انحراف الكرة A عندما كان للكرتين A وB الشحنة نفسها، وتبعد إحداهما عن الأخرى مسافة مقدارها r. ثم جعل شحنة الكرة B تساوي ثلث شحنة الكرة A. كم يجب أن تكون المسافة الجديدة بين الكرتين بحيث تنحرف الكرة A بمقدار مساوٍ لانحرافها السابق؟

لنحصل على القوة نفسها بثلث مقدار الشحنة الأصلية يجب تقليل المسافة بين الشحنتين بحيث تكون $r^2 = \frac{1}{3}$ أو تساوي 0.58 مرة ضعف المسافة بين الشحنتين الأصلية بينهما.

39. يؤثر جسمان مشحونان أحدهما في الآخر بقوة مقدارها 0.145 N عندما كانا على بُعد معيّن أحدهما من الآخر. فإذا قُرِّب أحدهما إلى الآخر بحيث أصبحت المسافة بينهما رُبع المسافة السابقة فما مقدار القوة المؤثرة في كل منهما؟

$$F_1 \propto \frac{1}{r^2}$$

$$F_2 \propto \frac{1}{\left(\frac{r}{4}\right)^2} = \frac{16}{r^2}, F_2 \propto \frac{16}{r^2}$$

أي أن القوة الناتجة أكبر من القوة الأصلية بـ 16 مرة.

40. القوى الكهربائية بين الشحنات كبيرة جدًّا عند مقارنتها بقوى الجاذبية بينها، ومع ذلك لا نشعر عادة بالقوى الكهربائية بيننا وبين المحيط من حولنا، إلا أننا نشعر بتأثيرات قوى الجاذبية مع الأرض. فسّر ذلك.

قوى الجاذبية قوى جذب فقط، أما القوة الكهربائية فهي إما قوى جذب أو قوى تنافر، ويكون شعورنا فقط بالمجموع.

إتقان حل المسائل
beadaya.com | موقع بداية التعليمي

2–2 القوة الكهربائية

41. شحنتان كهربائيتان، q_A و q_B، تفصل بينهما مسافة r، ويؤثر كل منهما في الآخر بقوة مقدارها F. حلّل قانون كولوم، وحدّد القوة الجديدة التي تنتج تحت الظروف الآتية:

a. مضاعفة الشحنة q_A مرتين.

$2q_A$ ، تصبح القوة الجديدة $= 2F$

b. تقليل الشحنتين q_A و q_B إلى النصف.

$\frac{1}{2}q_A$ و $\frac{1}{2}q_B$ تصبح القوة الجديد

$$\left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{1}{2}\right)F = \frac{1}{4}F$$

تابع إلى الصفحة التالية

c. مضاعفة r ثلاث أمثالها.

$$\frac{F}{(3)^2} = \frac{1}{9}F$$ = القوة الجديدة فتصبح 3r

d. تقليل r إلى النصف.

$$\frac{F}{\left(\frac{1}{2}\right)^2} = 4F$$ = القوة الجديدة فتصبح $\frac{1}{2}r$

e. مضاعفة q_A ثلاث أمثالها وr إلى المثلين.

$$\frac{(3)F}{(2)^2} = \frac{3}{4}F$$ = القوة الجديدة فتصبح $3q_A$ و 2r

42. البرق إذا نقلت صاعقة برق قوية شحنة مقدارها 25 C إلى الأرض فما عدد الإلكترونات المنقولة؟

$$(-25\text{C})\left(\frac{1 \text{ إلكترون}}{-1.60 \times 10^{-19}\text{C}}\right)$$ = 1.6×1020 إلكترون

43. الذرات إذا كانت المسافة بين إلكترونين في ذرة 1.5×10^{-10} m فما مقدار القوة الكهربائية بينهما؟

$$F = \frac{Kq_Aq_B}{r^2} = \frac{(9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2)(1.60 \times 10^{-19}\text{C})(1.60 \times 10^{-19}\text{C})}{(1.5 \times 10^{-10} \text{ m})^2}$$

$= 1.0 \times 10^{-8}$ N تنافر

44. شحنتان كهربائيتان مقدار كل منهما 2.5×10^{-5} C، والمسافة بينهما 15 cm. أوجد القوة التي تؤثر في كل منهما؟

$$F = \frac{Kq_Aq_B}{r^2} = \frac{(9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2)(2.5 \times 10^{-5}\text{C})(2.5 \times 10^{-5}\text{C})}{(1.5 \times 10^{-1} \text{ m})^2}$$

$= 2.5 \times 10^2$ N ويتجه كل من القوتين نحو الشحنة الأخرى،

تابع إلى الصفحة التالية

45. إذا كانت القوة التي تؤثر في كل من الشحنتين $8.0\times10^{-5}\ C$ و$3.0\times10^{-5}\ C$ تساوي $2.4\times10^{2}\ N$ فاحسب مقدار المسافة بينهما.

$$F = \frac{Kq_Aq_B}{r^2}$$

$$r = \sqrt{\frac{Kq_Aq_B}{F}} = \sqrt{\frac{(9.0\times10^{9}\ N\cdot m^2/C^2)(8.0\times10^{-5}C)(3.0\times10^{-5}C)}{2.4\times10^{2}\ N}}$$

$$= 0.30\ m$$

---

46. إذا أثّرت شحنتان موجبتان متماثلتان كل منهما في الأخرى بقوة تنافر مقدارها $6.4\times10^{-9}\ N$، عندما كانت إحداهما تبعد عن الأخرى مسافة $3.8\times10^{-10}\ m$، فاحسب مقدار شحنة كل منهما.

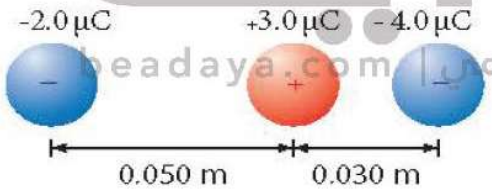
$$F = \frac{Kq_Aq_B}{r^2} = \frac{Kq^2}{r^2}$$

$$q = \sqrt{\frac{Fr^2}{K}} = \sqrt{\frac{(6.4\times10^{-9}\ N)(3.8\times10^{-10}\ m)^2}{9.0\times10^{9}\ N\cdot m^2/C^2}}$$

$$= 3.2\times10^{-19}C$$

---

47. تُسحب شحنة موجبة مقدارها $3.0\ \mu C$ بشحنتين سالبتين، كما هو موضح في الشكل **16–2**. فإذا كانت إحدى الشحنتين $-2.0\ \mu C$ تبعد مسافة $0.050\ m$ إلى الغرب، وتبعد الشحنة الأخرى $-4.0\ \mu C$ مسافة $0.030\ m$ إلى الشرق فما مقدار واتجاه القوة المحصلة المؤثرة في الشحنة الموجبة؟



■ الشكل 16–2

$$F_1 = \frac{(9.0\times10^{9}\ N\cdot m^2/C^2)(3.0\times10^{-6}C)(2.0\times10^{-6}C)}{(0.050\ m)^2}$$

$$= 22\ N$$ نحو الغرب (اليسار)،

$$F_2 = \frac{(9.0\times10^{9}\ N\cdot m^2/C^2)(3.0\times10^{-6}C)(4.0\times10^{-6}C)}{(0.030\ m)^2}$$

$$= 120\ N$$ نحو الشرق (اليمين)،

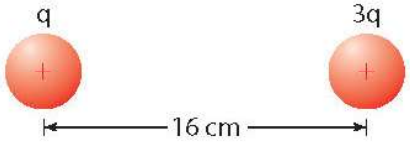
$$F_2 = F_2 - F_1 = (120\ N) - (22\ N)$$

$$= 98\ N$$ نحو الشرق،

بداية | beadaya.com

تقويم الفصل 2

48. يوضح **الشكل 17–2** كرتين مشحونتين بشحنتين موجبتين، شحنة إحداهما تساوي ثلاثة أمثال شحنة الأخرى، والمسافة بين مركزيهما 16 cm. إذا كانت القوة المتبادلة بينهما 0.28 N فما مقدار الشحنة على كل منهما؟



الشكل 17–2

49. **الشحنة على عملة نقدية** ما مقدار الشحنة المقيسة بالكولوم للإلكترونات الموجودة في قطعة نقدية مصنوعة من النيكل؟ استخدم الطريقة الآتية لتجد الإجابة:

a. أوجد عدد الذرات في قطعة النقد إذا كانت كتلة القطعة 5g، منها 75% نحاس، أما الـ 25% المتبقية فمن النيكل، لذا تكون كتلة كل مول من ذرات القطعة 62 g.

b. أوجد عدد الإلكترونات في قطعة النقد، علمًا أن متوسط عدد الإلكترونات لكل ذرة يساوي 28.75.

c. أوجد شحنة الإلكترونات بالكولوم.

مراجعة عامة

50. إذا لامَسَت كرة فلزية صغيرة شحنتها 1.2×10^{-5} C كرة مماثلة متعادلة، ثم وُضعت على بُعد 0.15 m منها فما القوة الكهربائية بين الكرتين؟

51. **الذرات** ما القوة الكهربائية بين إلكترون وبروتون يبعد أحدهما عن الآخر 5.3×10^{-11} m؟ (هذه المسافة تساوي نصف القطر التقريبي لذرة الهيدروجين).

52. تؤثر قوة مقدارها 0.36 N في كرة صغيرة شحنتها 2.4 μC، وذلك عند وضعها على بُعد 5.5 cm من مركز كرة ثانية مشحونة بشحنة غير معروفة. ما مقدار شحنة الكرة الثانية؟

53. كرتان متماثلتان مشحونتان، المسافة بين مركزيهما 12 cm. إذا كانت القوة الكهربائية بينهما 0.28 N فما شحنة كل كرة؟

54. في التجربة المستخدم فيها جهاز كولوم، يبعد مركز كرة شحنتها 3.6×10^{-8} C مسافة 1.4 cm عن مركز كرة ثانية غير معلومة الشحنة. إذا كانت القوة بين الكرتين 2.7×10^{-2} N فما شحنة الكرة الثانية؟

55. إذا كانت القوة بين بروتون وإلكترون 3.5×10^{-10} N فما المسافة بين الجسيمين؟

التفكير الناقد

56. **تطبيق المفاهيم** احسب نسبة القوة الكهربائية إلى قوة الجاذبية بين الإلكترون والبروتون في ذرة الهيدروجين.

57. **حلّل واستنتج** وضعت الكرة A التي تحمل شحنة مقدارها +64 μC عند نقطة الأصل، ووضعت كرة ثانية B تحمل شحنة سالبة مقدارها 16 μC عند النقطة +1.00 m على محور x. أجب عن الأسئلة الآتية:

a. أين يجب وضع كرة ثالثة C شحنتها +12 μC بحيث تكون القوة المحصلة المؤثرة فيها صفرًا؟

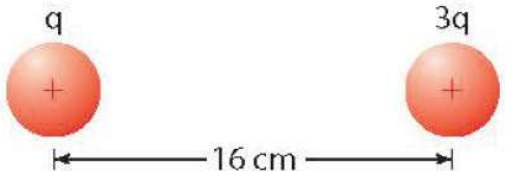
b. إذا كانت شحنة الكرة الثالثة C تساوي +6 μC فأين يجب وضعها على أن تبقى محصلة القوى المؤثرة فيها صفرًا؟

c. إذا كانت شحنة الكرة الثالثة سالبة ومقدارها 12 μC، فأين يجب وضعها على أن تبقى محصلة القوى المؤثرة فيها صفرًا؟

beadaya.com | بداية التعليمي

الإجابات في الصفحة التالية

48. يوضح الشكل 17-2 كرتين مشحونتين بشحنتين موجبتين، شحنة إحداهما تساوي ثلاثة أمثال شحنة الأخرى، والمسافة بين مركزيهما 16 cm. إذا كانت القوة المتبادلة بينهما 0.28 N فما مقدار الشحنة على كل منهما؟



الشكل 17-2

$$F = \frac{Kq_A q_B}{r^2} = \frac{Kq_A 3q_A}{r^2}$$

$$q_A = \sqrt{\frac{Fr^2}{3K}} = \sqrt{\frac{(0.28\ \text{N})(0.16\ \text{m})^2}{3(9.0 \times 10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2)}} = 5.2 \times 10^{-7}\text{C}$$

$$q_B = 3q_A = 1.5 \times 10^{-6}\text{C}$$

---

49. **الشحنة على عملة نقدية** ما مقدار الشحنة المقيسة بالكولوم للإلكترونات الموجودة في قطعة نقدية مصنوعة من النيكل؟ استخدم الطريقة الآتية لتجد الإجابة:

a. أوجد عدد الذرات في قطعة النقد إذا كانت كتلة القطعة 5g، منها 75% نحاس، أما الـ 25% المتبقية فمن النيكل، لذا تكون كتلة كل مول من ذرات القطعة 62 g.

$$\frac{(5\text{g})}{(62\text{g})} = 0.08$$ قطعة العملة تكافئ، مول

لذا؛ يكون عدد الذرات في قطعة العملة النقدية يساوي

$$(0.08)(6.02 \times 10^{23}) = 5 \times 10^{22}$$ ذرة

b. أوجد عدد الإلكترونات في قطعة النقد، علمًا أن متوسط عدد الإلكترونات لكل ذرة يساوي 28.75.

1×10^{24} إلكتروني = (ذرة / إلكترون 28.75) (ذرة 5×10^{22})

c. أوجد شحنة الإلكترونات بالكولوم.

2×10^{6}C = (إلكترون 1×10^{24})(إلكترون / كولوم 1.6×10^{-19})

beadaya.com | بوابة بداية التعليمي

تابع إلى الصفحة التالية

50. إذا لامَسَت كرة فلزية صغيرة شحنتها $1.2\times10^{-5}\,C$ كرة مماثلة متعادلة، ثم وُضعت على بُعد $0.15\,m$ منها فما القوة الكهربائية بين الكرتين؟

تصبح شحنة كل من الكرتين متساوية بعد الملامسة وتساوي $6.0 \times 10^{-6}\text{C}$

$$F = K\frac{q_A q_B}{r^2} = \left(9.0 \times 10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2\right)\frac{\left(6.0 \times 10^{-6}\text{C}\right)\left(6.0 \times 10^{-6}\text{C}\right)}{(0.15\ \text{m})^2}$$
$$= 14\ \text{N}$$

---

51. الذرات ما القوة الكهربائية بين إلكترون وبروتون يبعد أحدهما عن الآخر $5.3\times10^{-11}\,m$؟ (هذه المسافة تساوي نصف القطر التقريبي لذرة الهيدروجين).

$$F = K\frac{q_A q_B}{r^2}$$
$$= \left(9.0 \times 10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2\right)\frac{\left(1.60 \times 10^{-19}\text{C}\right)\left(1.60 \times 10^{-19}\text{C}\right)}{\left(5.3 \times 10^{-11}\ \text{m}\right)^2}$$
$$= 8.2 \times 10^{-8}\ \text{N}$$

beadaya.com | موقع بداية التعليمي

---

52. تؤثر قوة مقدارها $0.36\,N$ في كرة صغيرة شحنتها $2.4\,\mu C$، وذلك عند وضعها على بُعد $5.5\,cm$ من مركز كرة ثانية مشحونة بشحنة غير معروفة. ما مقدار شحنة الكرة الثانية؟

$$F = K\frac{q_A q_B}{r^2}$$
$$q_B = \frac{Fr^2}{Kq_A} = \frac{(0.36\ \text{N})\left(5.5 \times 10^{-2}\ \text{m}\right)^2}{\left(9.0 \times 10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2\right)\left(2.4 \times 10^{-6}\text{C}\right)} = 5.0 \times 10^{-8}\text{C}$$

تابع إلى الصفحة التالية

53. كرتان متماثلتان مشـــحونتان، المسافة بين مركزيهما 12 cm. إذا كانت القـــوة الكهربائية بينهما 0.28 N فما شحنة كل كرة؟

$$F = K\frac{q_A q_B}{r^2}$$

لكن $q_A = q_B$

$$q = \sqrt{\frac{Fr^2}{K}} = \sqrt{\frac{(0.28\ \text{N})(1.2 \times 10^{-2}\ \text{m})^2}{(9.0 \times 10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2)}}$$

$$= 6.7 \times 10^{-7}\text{C}$$

---

54. في التجربة المستخدم فيها جهاز كولوم، يبعد مركز كرة شحنتها 3.6×10^{-8} C مسافة 1.4 cm عن مركز كرة ثانية غير معلومة الشـــحنة. إذا كانت القوة بين الكرتين 2.7×10^{-2} N فما شحنة الكرة الثانية؟

$$F = K\frac{q_A q_B}{r^2}$$

$$q_B = \frac{Fr^2}{Kq_A} = \sqrt{\frac{(2.7 \times 10^{-2}\ \text{N})(1.4 \times 10^{-2}\ \text{m})2}{(9.0 \times 10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2)(3.6 \times 10^{-8}\text{C})}}$$

$$= 1.6 \times 10^{-8}\text{C}$$

---

55. إذا كانت القوة بين بروتون وإلكترون 3.5×10^{-10} N فما المسافة بين الجسيمين؟

$$F = K\frac{q_A q_B}{r^2}$$

$$r = \sqrt{K\frac{q_A q_B}{F^2}}$$

$$= \sqrt{(9.0 \times 10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2)\frac{(1.60 \times 10^{-19}\text{C})(1.6 \times 10^{-19}\text{C})}{3.5 \times 10^{-10}\ \text{N}}} = 8.1 \times 10^{-10}\ \text{m}$$

بداية
beadaya.com | موقع بداية التعليمي

تابع إلى الصفحة التالية

56. **تطبيق المفاهيم** احسب نسبة القوة الكهربائية إلى قوة الجاذبية بين الإلكترون والبروتون في ذرة الهيدروجين.

$$\frac{F_e}{F_g} = \frac{K\frac{q_e q_p}{r^2}}{G\frac{m_e m_p}{r^2}} = \frac{Kq_e q_p}{Gm_e m_p}$$

$$= \frac{(9.0 \times 10^9\ \mathrm{N \cdot m^2/C^2})(1.60 \times 10^{-19}\mathrm{C})^2}{(6.67 \times 10^{-11}\ \mathrm{N \cdot m^2/kg^2})(9.11 \times 10^{-31}\ \mathrm{kg})(1.67 \times 10^{-27}\ \mathrm{kg})}$$

$$= 2.3 \times 10^{39}$$

---

57. **حلّل واستنتج** وضعت الكرة A التي تحمل شحنة مقدارها $+64\ \mu C$ عند نقطة الأصل، ووضعت كرة ثانية B تحمل شحنة سالبة مقدارها $16\ \mu C$ عند النقطة $+1.00\ m$ على محور x. أجب عن الأسئلة الآتية:

a. أين يجب وضع كرة ثالثة C شحنتها $+12\ \mu C$ بحيث تكون القوة المحصلة المؤثرة فيها صفرًا؟

$$F_{AC} = K\frac{q_A q_C}{r_{AC}^2} = K\frac{q_B q_C}{r_{BC}^2} = F_{BC}$$

$$\frac{q_A}{r_{AC}^2} = \frac{q_B}{r_{BC}^2}, 16r_{AC}^2 = 64r_{BC}^2 \quad \text{gi } r_{AC}^2 = 4r_{BC}^2, r_{AC} = 2r_{BC}$$

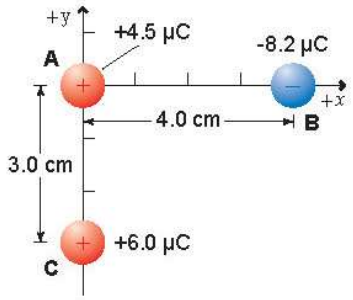
لذا يجب وضع الكرة الثالثة C عند النقطة $+2.00m$ على محور x فتكون بعيدة عن الكرة الأولى مثل بعدها عن الكرة الثانية.

b. إذا كانت شحنة الكرة الثالثة C تساوي $+6\ \mu C$ فأين يجب وضعها على أن تبقى محصلة القوى المؤثرة فيها صفرًا؟

الشحنة الثالثة q_c تُختصر من المعادلة، لذا فإن مقدارها ونوعها لا يؤثر.

تقويم الفصل 2

58. وضعت ثلاث كرات مشحونة، كما هو موضح في **الشكل 18-2**. أوجد القوة المحصلة المؤثرة في الكرة B.



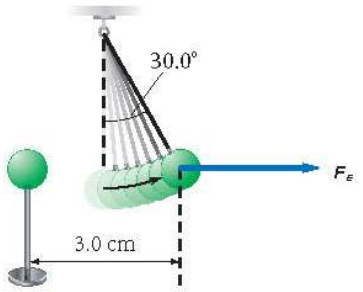
■ **الشكل 18-2**

59. يوضح **الشكل 19-2** كرتي بيلسان، كتلة كل منهما 1.0 g، وشحنتاهما متساويتان؛ إحداهما معلّقة بخيط عازل، والأخرى قريبة منها ومثبتة على حامل عازل، والبعد بين مركزيهما 3.0 cm. إذا اتزنت الكرة المعلّقة عندما شكّل الخيط العازل الذي يحملها زاوية مقدارها 30.0° مع الرأسي فاحسب كلًّا مما يأتي:

a. F_g المؤثرة في الكرة المعلّقة.

b. F_E المؤثرة في الكرة المعلّقة.

c. الشحنة على كل من الكرتين.



■ **الشكل 19-2**

60. وضعت شحنتان نقطيتان ساكنتان q_A و q_B بالقرب من شحنة اختبار موجبة، q_T، مقدارها $+7.2\ \mu C$.

إذا كانت الشحنة الأولى q_A موجبة وتساوي $3.6\ \mu C$ وتقع على بُعد $2.5\ cm$ من شحنة الاختبار q_T عند زاوية 35°، والشحنة الثانية q_B سالبة ومقدارها $-6.6\ \mu C$ وتقع على بُعد $6.8\ cm$ من شحنة الاختبار عند زاوية 125°:

a. فحدّد مقدار كل قوة من القوتين اللتين تؤثران في شحنة الاختبار q_T.

b. ارسم مخطّط القوة.

c. حدّد بالرسم القوة المحصلة المؤثرة في شحنة الاختبار q_T.

الكتابة في الفيزياء

61. **تاريخ العلم** ابحث في الأجهزة المختلفة التي كانت تستخدم في القرنين السابع عشر والثامن عشر في دراسة الكهرباء الساكنة. قد تتطرق مثلاً إلى قارورة ليدن وآلة ويمشورست. ناقش كيف تم بناؤهما، ومبدأ عمل كل منهما.

62. هناك قوى بين جزيئات الماء تؤدي إلى أن يكون الماء أكبر كثافة عندما يكون سائلًا بين 0 °C و 4 °C مقارنة بحالته عندما يكون صلبًا عند 0 °C. هذه القوى في طبيعتها ما هي إلا قوى كهروسكونية. ابحث في القوى الكهروسكونية بين الجزيئات، ومنها قوى فان درفال وقوى الاستقطاب، وصِف أثرها في المادة.

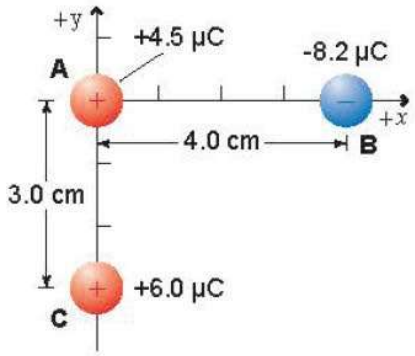
مراجعة تراكمية

63. إذا أثّرت شحنتان $2.0\times10^{-5}\ C$ و $8.0\times10^{-6}\ C$ إحداهما في الأخرى بقوة مقدارها 9.0 N فاحسب مقدار البعد بينهما. (الفصل 2)

بداية
موقع بداية التعليمي | bedaya.com

الإجابات في الصفحة التالية

58. وضعت ثلاث كرات مشحونة، كما هو موضح في الشكل **18–2**. أوجد القوة المحصلة المؤثرة في الكرة B.



■ الشكل **18–2**

$$F_1 = F_{\text{B على A}}$$
$$= \frac{Kq_Aq_B}{r^2} = \frac{(9.0\times10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2)(4.5\times10^{-6}\text{C})(-8.2\times10^{-6}\text{C})}{(0.040\ \text{m})^2}$$
$$= -208\ \text{N} = 208\ \text{N}$$ نحو اليسار،

المسافة بين الشحنتين الأخرتين هي: $\sqrt{(0.040\ \text{m})^2 + (0.030\ \text{m})^2} = 0.050\ \text{m}$

$$\theta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{0.030\ \text{m}}{0.040\ \text{m}}\right) = 37°$$

أي تميل القوة $F_{\text{B على C}}$ على محور x الموجب 217° أو تميل إلى أسفل محور x السالب 37°.

$$F_2 = F_{\text{B على C}}$$
$$= K\frac{q_Cq_B}{r^2} = \frac{(9.0\times10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2\text{C})(-8.2\times10^{-6}\text{C})(6.0\times10^{-6}\text{C})}{(0.050\ \text{m})^2}$$
$$= -177\ \text{N} = 177\ \text{N}/217°$$

مركبات القوة F_2 هي:

$F_{2x} = F_2\cos\theta = (177\ \text{N})(\cos 217°) = -142\ \text{N} = 142\ \text{N}$ ويتجه نحو اليسار،

$F_{2y} = F_2\sin\theta = (177\ \text{N})(\sin 217°) = -106\ \text{N} = 106\ \text{N}$ ويتجه نحو الأسفل،

أي تميل بزاوية محور x الموجب تساوي $(37° + 180°)$

موقع بداية التعليم

تابع إلى الصفحة التالية

مركبات القوة المحصلة هي:

$F_{\text{المحصلة}x} = -208\ \text{N} - 142\ \text{N} = -350\ \text{N} = 350\ \text{N}$ نحو اليسار،

$F_{\text{المحصلة}y} = 106$ وتتجه نحو الأسفل،

$$F_{\text{المحصلة}} = \sqrt{(350\ \text{N})^2 + (106\ \text{N})^2} = 366\ \text{N} \simeq 3.7 \times 10^2\ \text{N}$$

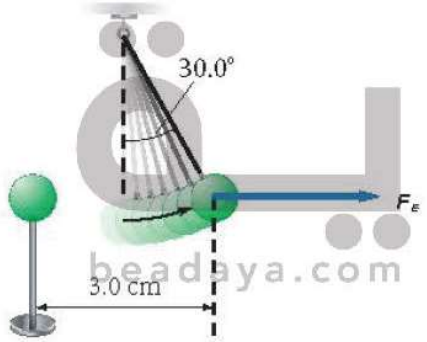
$$\theta_2 = \tan^{-1}\left(\frac{106\ \text{N}}{350\ \text{N}}\right) = 17°$$

أي تميل بزاوية 17° أسفل محور x السالب

$F_{\text{المحصلة}} = 3.7 \times 10^2\ \text{N}$ أي تميل بزاوية 197° أسفل محور x الموجب،

---

59. يوضح الشكل **19–2** كرتي بيلسان، كتلة كل منهما 1.0 g، وشحنتاهما متساويتان؛ إحداهما معلّقة بخيط عازل، والأخرى قريبة منها ومثبتة على حامل عازل، والبعد بين مركزيهما 3.0 cm. إذا اتزنت الكرة المعلّقة عندما شكّل الخيط العازل الذي يحملها زاوية مقدارها 30.0° مع الرأسي فاحسب كلًّا مما يأتي:



الشكل 19–2

a. F_g المؤثرة في الكرة المعلّقة.

$$F_g = mg = (1.0 \times 10^{-3}\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2) = 9.8 \times 10^{-3}\ \text{N}$$

b. F_E المؤثرة في الكرة المعلّقة.

$$\tan 30.0° = \frac{F_E}{F_g}$$

$$F_E = mg \tan 30.0°$$

$$= (1.0 \times 10^{-3}\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(\tan 30.0°)$$

$$= 5.7 \times 10^{-3}\ \text{N}$$

beadaya.com | موقع بداية التعليمي

تابع إلى الصفحة التالية

c. الشحنة على كل من الكرتين.

$$F = \frac{Kq_A q_B}{r^2} = \frac{Kq^2}{r^2}$$

$$q = \sqrt{\frac{Fr}{K}} = \sqrt{\frac{(5.7 \times 10^{-3}\ \mathrm{N})(3.0 \times 10^{-2}\mathrm{m}^2)}{(9.0 \times 10^{9}\mathrm{N \cdot m^2/C^2})}} = 2.4 \times 10^{-8}\mathrm{C}$$

---

60. وضعت شحنتان نقطيتان ساكنتان q_A و q_B بالقرب من شحنة اختبار موجبة، q_T، مقدارها $+7.2\ \mu\mathrm{C}$. إذا كانت الشحنة الأولى q_A موجبة وتساوي $3.6\ \mu\mathrm{C}$ وتقع على بُعد $2.5\ \mathrm{cm}$ من شحنة الاختبار q_T عند زاوية $35°$، والشحنة الثانية q_B سالبة ومقدارها $-6.6\ \mu\mathrm{C}$ وتقع على بُعد $6.8\ \mathrm{cm}$ من شحنة الاختبار عند زاوية $125°$:

a. فحدّد مقدار كل قوة من القوتين اللتين تؤثران في شحنة الاختبار q_T.

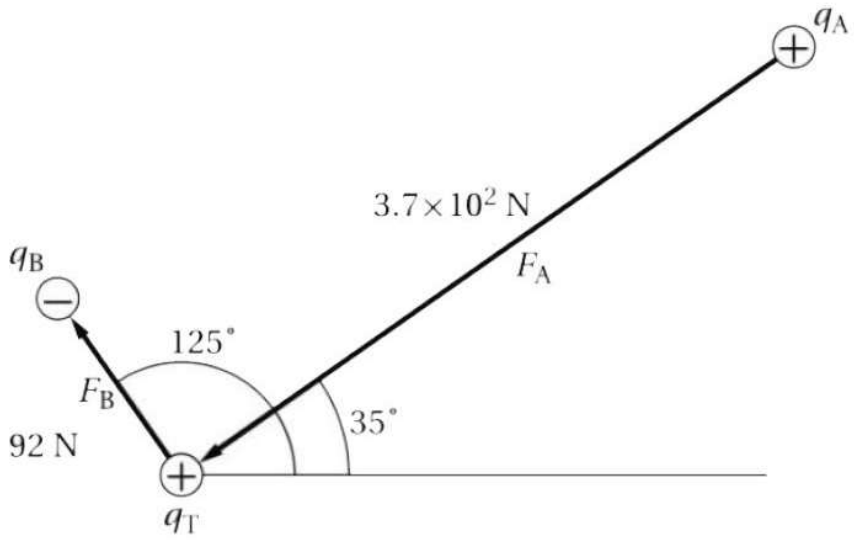
$$F_A = K\frac{q_T q_A}{r^2} = \frac{(9.0 \times 10^{9}\ \mathrm{N \cdot m^2/C^2})(7.2 \times 10^{-6}\mathrm{C})(3.6 \times 10^{-6}\mathrm{C})}{(0.025\ \mathrm{m})^2}$$

$$= 3.7 \times 10^{2}\ \mathrm{N}$$ ، (وتتجه نحو الشحنة q_T)

$$F_B = \frac{Kq_T q_B}{r^2} = \frac{(9.0 \times 10^{9}\ \mathrm{N \cdot m^2/C^2})(7.2 \times 10^{-6}\mathrm{C})(6.6 \times 10^{-6}\mathrm{C})}{(0.068\ \mathrm{m})^2}$$

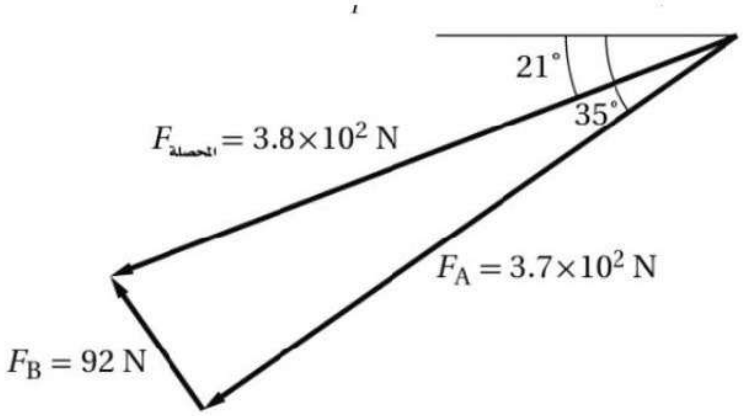
$$= 92\ \mathrm{N}$$ ، (وتتجه بعيداً عن الشحنة q_T)

b. ارسم مخطّط القوة.



تابع إلى الصفحة التالية

c. حدّد بالرسم القوة المحصلة المؤثرة في شحنة الاختبار q_T.



الكتابة في الفيزياء

61. تاريخ العلم ابحث في الأجهزة المختلفة التي كانت تستخدم في القرنين السابع عشر والثامن عشر في دراسة الكهرباء الساكنة. قد تتطرق مثلاً إلى قارورة ليدن وآلة ويمشورست. ناقش كيف تم بناؤهما، ومبدأ عمل كل منهما.

ستختلف الإجابات، ولكن يجب أن تتضمن المعلومات التالية: اخترعت قارورة ليدن في منتصف أربعينيات القرن الثامن عشر، وكانت أول مكثف يتم استخدامه. وقد استخدمت خلال القرنين الثامن عشر والتاسع عشر لتخزين الشحنات الكهربائية المتعلقة بالتجارب والعروض. أما آلة ويمشورت فقد استخدمت في القرن التاسع عشر وبداية القرن العشرين لتوليد وتفريغ الشحنات الكهربائية الساكنة. واستبدل بها مولد فان دي جراف في القرن العشرين.

62. هناك قوى بين جزيئات الماء تؤدي إلى أن يكون الماء أكبر كثافة عندما يكون سائلاً بين 0 °C و4 °C مقارنة بحالته عندما يكون صلبًا عند 0 °C. هذه القوى في طبيعتها ما هي إلا قوى كهروسكونية. ابحث في القوى الكهروسكونية بين الجزيئات، ومنها قوى فان درفال وقوى الاستقطاب، وصِف أثرها في المادة.

ستختلف الإجابات، ولكن يجب أن يصف الطلاب التفاعل بين الشحنات الموجبة والسالبة على المستوى الجزيئي. وعليهم أن يلاحظوا أن شدة هذه القوى هي المسؤولة عن الاختلافات في درجتي الانصهار والغليان، وعن خصوصية تمدد الماء بين 0°C و 8°C.

تابع إلى الصفحة التالية

63. إذا أثّرت شحنتان $2.0\times10^{-5}\ C$ و $8.0\times10^{-6}\ C$ إحداهما في الأخرى بقوة مقدارها $9.0\ N$ فاحسب مقدار البعد بينهما. (الفصل 2)

$$F = K\frac{(q_A q_B)}{r^2}$$

أي أن:

$$r = \sqrt{\frac{Kq_A q_B}{F}}$$

$$= \sqrt{\frac{(9.0\times10^9\ N^2\ m^2/C^2)(2.0\times10^{-5}C)(8.0\times10^{-6}C)}{9.0\ N}}$$

$$= 0.40\ m$$

بداية
beadaya.com | موقع بداية التعليمي

اختبار مقنن

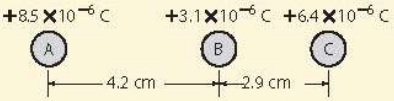
أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. ما عدد الإلكترونات المنتقلة من كشّاف كهربائي مشحون بشحنة موجبة إذا كان صافي شحنته 7.5×10^{-11} C؟
   - (A) 7.5×10^{-11} إلكترون
   - (B) 2.1×10^{-9} إلكترون
   - (C) 1.2×10^{8} إلكترون
   - (D) 4.7×10^{8} إلكترون

2. إذا كانت القوة المؤثرة في جسيم شحنته 5.0×10^{-9} C نتيجة تأثير جسيم آخر يبعد عنه 4 cm تساوي 8.4×10^{-5} N فما شحنة الجسيم الثاني؟
   - (A) 4.2×10^{-13} C
   - (B) 2.0×10^{-9} C
   - (C) 3.0×10^{-9} C
   - (D) 6.0×10^{-5} C

3. إذا وُضِعت ثلاث شحنات A وB وC، على خط واحد، كما هو موضح أدناه، فما القوة المحصلة المؤثرة في الشحنة B؟
   - (A) 78 N في اتجاه A
   - (B) 78 N في اتجاه C
   - (C) 130 N في اتجاه A
   - (D) 210 N في اتجاه C



4. ما شحنة كشّاف كهربائي إذا كان عدد الإلكترونات الفائضة عليه 4.8×10^{10} إلكترون؟
   - (A) 3.3×10^{-30} C
   - (B) 4.8×10^{-10} C
   - (C) 7.7×10^{-9} C
   - (D) 4.8×10^{10} C

5. القوة الكهربائية المتبادلة بين جسمين مشحونين تساوي 86 N. إذا حُرّك الجسمان بحيث أصبحا على بُعد يساوي ستة أمثال البعد الذي كانا عليه سابقًا فما القوة الجديدة التي يؤثر بها كل منهما في الآخر؟
   - (A) 2.4 N
   - (B) 14 N
   - (C) 86 N
   - (D) 5.2×10^{2} N

6. جسمان مشحونان بالمقدار نفسه من الشحنة، ويؤثر كل منهما في الآخر بقوة مقدارها 90 N، فإذا استبدلنا بأحدهما جسمًا آخر له الحجم نفسه إلا أن شحنته أكبر من الجسم السابق ثلاث مرات فما القوة الجديدة التي يؤثر بها كل منهما في الآخر؟
   - (A) 10 N
   - (B) 30 N
   - (C) 2.7×10^{2} N
   - (D) 8.1×10^{2} N

7. إذا كانت كتلة جسيم ألفا 6.68×10^{-27} kg وشحنته 3.2×10^{-19} C فما النسبة بين القوة الكهروسكونية وقوة الجاذبية بين جسيمين من جسيمات ألفا؟
   - (A) 1
   - (B) 4.8×10^{7}
   - (C) 2.3×10^{15}
   - (D) 3.1×10^{35}

8. تسمى عملية شحن جسم متعادل عن طريق ملامسته بجسم مشحون ..... .
   - (A) التوصيل
   - (B) الحث
   - (C) التأريض
   - (D) التفريغ

بوابة الأوائل
موقع بوابة الأوائل التعليمية
Bawabty.com

9. دلك أحمد بالونًا بقطعة صوف، فشُحِن البالون بشحنة سالبة ومقدارها 8.9×10^{-14} C. ما القوة المتبادلة بين البالون وكرة فلزية مشحونة بـ 25 C وتبعد 2 km عنه؟

(A) 8.9×10^{-15} N

(B) 5.0×10^{-9} N

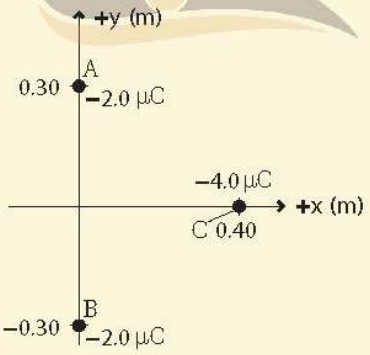
(C) 2.2×10^{-12} N

(D) 5.6×10^{4} N

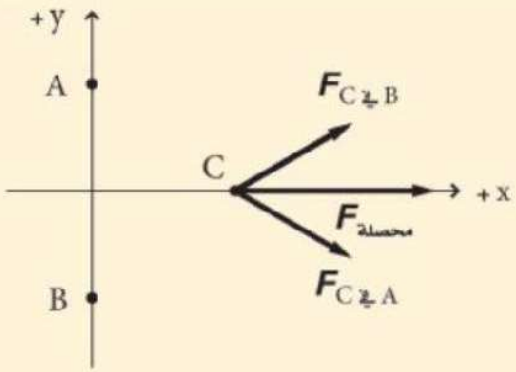
الأسئلة الممتدة

10. بالرجوع إلى الرسم أدناه، ما القوة المحصلة المؤثرة في الشحنة C من قبل الشحنتين A وB؟ ضمّن إجابتك رسمًا بيانيًّا يوضّح متجهات القوى.

$F_{C\text{ في }A}$ و $F_{C\text{ في }B}$ و $F_{\text{المحصلة}}$



$F_{\text{المحصلة}} = 0.64N$ في اتجاه المحور x الموجب



إرشاد

أجب بتأنٍ

تأكد من أنك أجبت عن السؤال الذي تطرحه المسألة. اقرأ الأسئلة والخيارات برويّة وتأنٍّ. وتذكّر أن حل معظم المسائل بصورة صحيحة أفضل من أن تحلها جميعها ويكون معظمها غير صحيح.

بداية
beadaya.com | موقع بداية التعليمي