

المجالات الكهربائية Electric Fields

الفصل 9

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- ربط المجالات الكهربائية مع القوى الكهربائية، والتميز بينهما.
- ربط فرق الجهد الكهربائي مع الطاقة والشغل.
- وصف كيفية توزيع الشحنات على الموصلات.
- توضيح كيف تخزن المكثفات الشحنات الكهربائية.

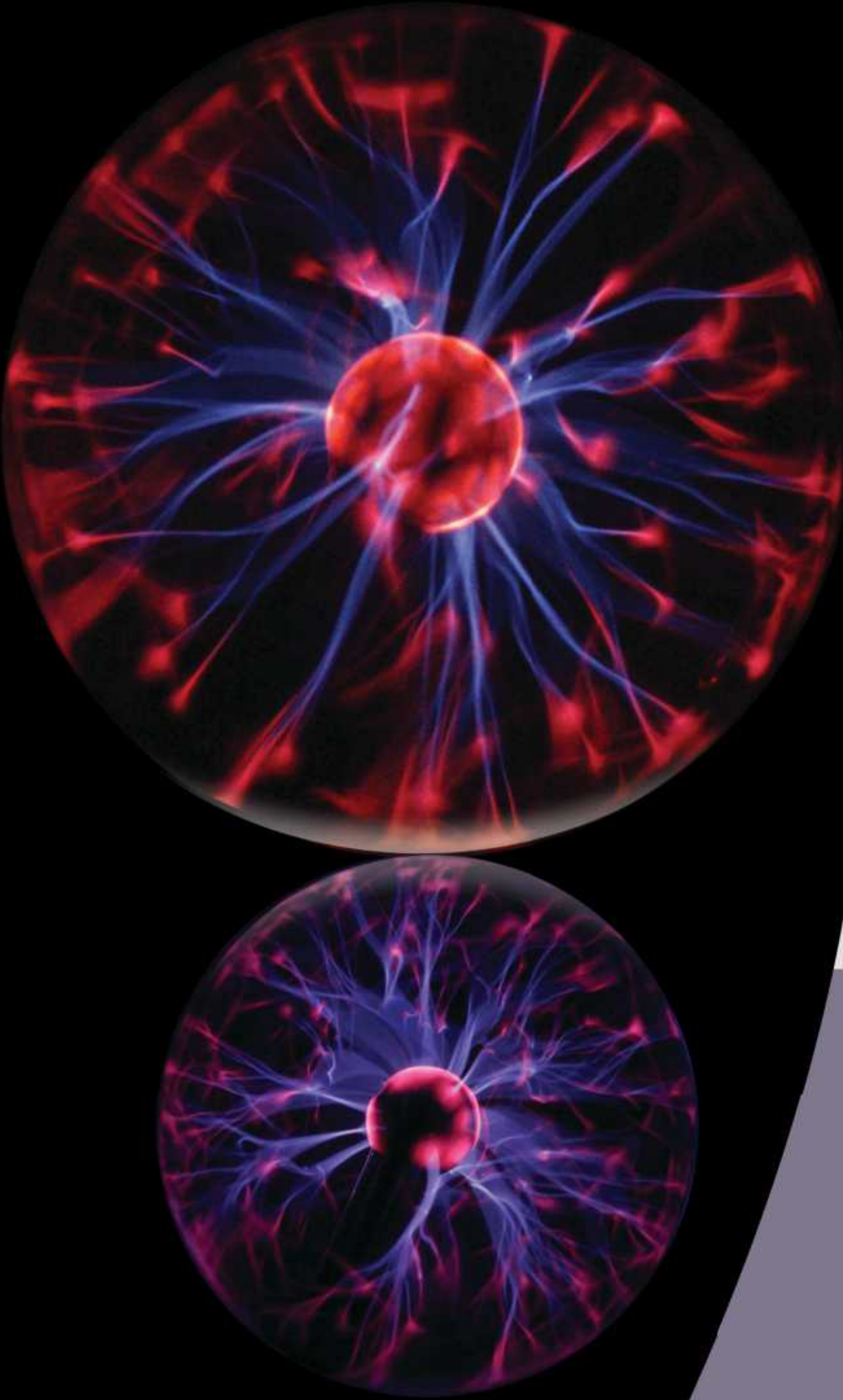
الأهمية

تعدّ الكهرباء الشكل الرئيس للطاقة بالنسبة للمجتمعات الحديثة. **تفريغ الطاقة الكبيرة** يُحدث مولّد جهد عالٍ التوهّج الذي تشاهده داخل كرات التفريغ المجاورة.

فكر

لماذا لا يتوهّج مصباح كهربائي عادي بالطريقة نفسها التي تتوهّج بها كرات التفريغ الموضحة في الصورة المجاورة عند وصلها بمولّد جهد عالٍ؟

ينتج التوهّج في كرة البلازما عن تصادم الإلكترونات مع ذرات الغاز الموجود في الكرة عند حدوث التفريغ الكهربائي. وتحتوي كرة البلازما على غاز ذي ضغط منخفض وقطب كهربائي مركزي، وتغذي دائرة مهتزة القطب المركزي بجهد مقداره 10000 فولت تقريبًا. والبلازما عبارة عن غاز مؤيّن بدرجة كبيرة تتحرك أيوناته نتيجة تأثير قوة كهربائية فيها من المجال الكهربائي في الكرة. وتؤدي حركتها هذه إلى حدوث تصادمات، ومن ثم تبادل للطاقة، حيث تُطلق الذرات أو الجزيئات المُستثارة الطاقة الزائدة المتبادلة في هذه التصادمات على شكل موجات كهرومغناطيسية، نراها في الصورة على شكل توهّج.





www.iem.edu.sa



تجربة استهلاكية

كيف تتفاعل الأجسام المشحونة عن بُعد؟

التحليل

ماذا تلاحظ عندما تقرب أحد البالونين إلى الآخر؟ وماذا يحدث عندما تقرب يدك إلى البالونين؟

التفكير الناقد اذكر جسمين آخرين (غير البالونين) أثر أحدهما في الآخر عن بُعد بالطريقة نفسها التي أثر بها كل من البالونين على الآخر.



سؤال التجربة كيف يتأثر جسم مشحون بتفاعله عن بُعد مع أجسام أخرى مشحونة؟

الخطوات

1. انفخ بالونين، ثم اربط كلا منهما بخيط طوله $\frac{1}{2}m$.
2. ادلك أحد البالونين بثوبك 5-8 مرات حتى تشحنه، ثم علقه في خزانة أو طاولة أو غيرهما من وسائل التعليق، مستعملاً شريطاً لاصقاً لتثبيت طرف الخيط.
3. ادلك البالون الثاني بالطريقة نفسها، ثم علقه.
4. **لاحظ** قرب البالون الثاني إلى البالون الأول ببطء، ووصف سلوك البالونين. ألصق طرف خيط البالون الثاني بحيث يصبح معلقاً بجانب البالون الأول.
5. **لاحظ** قرب يدك من البالونين المشحونين. ماذا يحدث؟

9-1 توليد المجالات الكهربائية وقياسها Creating and Measuring Electric Fields

الأهداف

- تعرّف المجال الكهربائي.
- تحل مسائل متعلقة بالشحنة والمجالات والقوى الكهربائية.
- ترسم خطوط المجال الكهربائي.

المفردات

- المجال الكهربائي
- شحنة الاختبار
- خط المجال الكهربائي

تشبه القوة الكهربائية قوة التجاذب الكتلي التي درستها سابقاً؛ حيث تتناسب القوة الكهربائية عكسياً مع مربع المسافة بين جسمين نقطيين مشحونين، كما تؤثر القوتان عن بُعد من مسافات كبيرة نسبياً، فكيف يمكن لقوة ما التأثير خلال ما يبدو أنه حيز فارغ؟ لاحظ مايكل فاراداي أن الجسم المشحون كهربائياً وليكن A يؤثر بقوة في جسم آخر مشحون كهربائياً وليكن B عندما يكون موضوعاً في أي مكان في الفراغ أو الوسط، واقترح تفسيراً لذلك أن الجسم A يجب أن يغير بطريقة ما من خصائص ذلك الوسط. وسيشعر الجسم B بذلك التغير في الفراغ أو الوسط، وسيؤثر بقوة ناجمة عن التغير في خصائص الوسط في موقعه. وأطلق على تغير خاصية الوسط اسم **المجال الكهربائي**. والمجال الكهربائي لا يعني التفاعل بين جسمين عن بُعد، بل يعني التفاعل بين الجسم الموضوع في المجال والمجال الكهربائي عند ذلك الموضع فيه. ويمكن للقوى التي تؤثر بها المجالات الكهربائية أن تبذل شغلاً، فتنتقل الطاقة من المجال إلى جسم آخر مشحون. وأنت تستخدم هذه الطاقة يومياً؛ سواء وصلت جهازاً كهربائياً بمقبس، أو استعملت جهازاً كهربائياً متنقلاً يعمل ببطارية.

المجال الكهربائي The Electric Field

كيف يمكن قياس شدة المجال الكهربائي؟ ضع جسيماً صغيراً مشحوناً في موقع معين. إذا كان هناك أي قوة كهربائية تؤثر فيه فسوف يكون هناك مجال كهربائي في ذلك الموقع. (هذه الشحنة الموجودة على الجسيم الصغير والتي استعملت لاختبار المجال تسمى **شحنة الاختبار**). ويجب أن تكون هذه الشحنة موجبة وصغيرة بحيث لا تؤثر في الشحنات الأخرى.

لاحظ الشكل 1-9 الذي يوضح جسماً مشحوناً بشحنة مقدارها q . وافترض أنك وضعت شحنة الاختبار الموجبة في نقطة معينة، ولتكن النقطة A مثلاً، ثم حسبت القوة F . ستتناسب هذه القوة طردياً مع مقدار شحنة الاختبار q' ، وذلك وفق قانون كولوم؛ أي أنه إذا تضاعفت الشحنة ستتضاعف القوة كذلك، لذا تبقى النسبة بين القوة والشحنة ثابتة. وإذا قسمت القوة F على شحنة الاختبار q' فستحصل على كمية متجهة F/q' . وهذه الكمية لا تعتمد على شحنة الاختبار، وإنما تعتمد فقط على كل من القوة F والمسافة بين الشحنة وشحنة الاختبار A. ويعبر عن شدة المجال الكهربائي عند النقطة A؛ أي النقطة التي تمثل موقع شحنة الاختبار بالمعادلة الآتية:

$$E = \frac{F_{q'}}{q'}$$

شدة المجال الكهربائي تساوي مقدار القوة المؤثرة في شحنة اختبار موجبة مقسوماً على مقدار تلك الشحنة.

ويكون اتجاه شدة المجال الكهربائي في نفس اتجاه القوة المؤثرة في شحنة اختبار موجبة. وتقاس شدة المجال الكهربائي بوحدة نيوتن / كولوم (N/C).

يمكن تكوين صورة لشدة المجال الكهربائي باستعمال الأسهم لتمثيل متجهات المجال عند مواقع مختلفة، كما هو موضح في الشكل 1-9؛ حيث يستخدم طول السهم لبيان شدة المجال، أما اتجاه السهم فيمثل اتجاه المجال. ولإيجاد شدة المجال الكهربائي الناشئ عن شحنتين عند نقطة يتم إيجاد شدة المجال الكهربائي الناشئ عن كل شحنة على انفراد عند تلك النقطة، ثم يُجمع هذان المجالان جمعاً اتجاهياً. وتستخدم شحنة اختبار لرسم المجال الناشئ عن أي تجمع للشحنات. ويوضح الجدول 1-9 قيم شدة المجالات الكهربائية المثالية الناتجة عن تجمعات معينة للشحنات.

يجب قياس شدة المجال الكهربائي باستخدام شحنة اختبار صغيرة جداً فقط؛ وذلك لأن شحنة الاختبار تؤثر أيضاً بقوة في الشحنة q . ومن المهم ألا تؤدي القوة التي تؤثر بها شحنة الاختبار إلى إعادة توزيع شحنات الموصل، مما يسبب تحرك الشحنة q إلى موقع آخر عليه، فيؤدي ذلك إلى تغيير القوة المؤثرة في q' ، ومن ثم تغير شدة المجال الكهربائي الذي يتم قياسه. لذا يجب أن تكون شحنة الاختبار صغيرة جداً، بحيث يمكن إهمال تأثيرها في الشحنة q .

دلالة الألوان

- خطوط المجال الكهربائي باللون النيلي.
- الشحنة الموجبة باللون الأحمر.
- الشحنة السالبة باللون الأزرق.

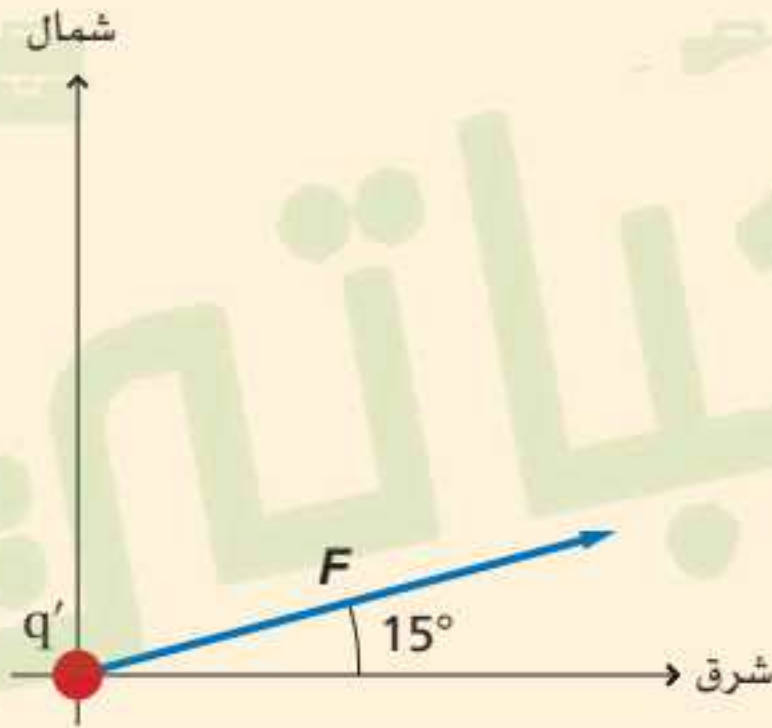


■ الشكل 1-9 تُستخدم الأسهم لتمثيل مقدار المجال الكهربائي المتولد حول شحنة كهربائية عند مواقع مختلفة، واتجاهه.

الجدول 9-1	
القيم التقريبية لمجالات كهربائية مثالية	
المقدار (N/C)	المجال
1×10^3	بالقرب من قضيب مطاط صلب ومشحون
1×10^5	في أنبوب الأشعة المهبطية في التلفاز
3×10^6	الضروري لإحداث شرارة كهربائية في الهواء
3×10^{11}	عند مدار إلكترون ذرة الهيدروجين

مثال 1

شدة المجال الكهربائي قيس مجال كهربائي في الهواء باستخدام شحنة اختبار موجبة مقدارها $3.0 \times 10^{-6} \text{ C}$ ، فتأثرت هذه الشحنة بقوة مقدارها 0.12 N في اتجاه يميل بزاوية 15° شمال الشرق. ما مقدار واتجاه شدة المجال الكهربائي عند موقع شحنة الاختبار؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم شحنة الاختبار q' .
- حدّد نظام إحداثيات على أن يكون مركزه شحنة الاختبار.
- ارسم متجه القوة بزاوية 15° شمال الشرق.

المجهول

$E = ?$

المعلوم

$q' = +3.0 \times 10^{-6} \text{ C}$

بزاوية 15° شمال الشرق، $F = 0.12 \text{ N}$

2 إيجاد الكمية المجهولة

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية

$$E = \frac{F}{q'}$$

$$= \frac{0.12 \text{ N}}{3.0 \times 10^{-6} \text{ C}}$$

$$= 4.0 \times 10^4 \text{ N/C}$$

بالتعويض عن $F = 0.12 \text{ N}$ ، $q' = 3.0 \times 10^{-6} \text{ C}$

إن كلاً من القوة المؤثرة في شحنة الاختبار والمجال الكهربائي في الاتجاه نفسه.

ويميل بزاوية 15° شمال الشرق، $E = 4.0 \times 10^4 \text{ N/C}$

3 تقويم الجواب

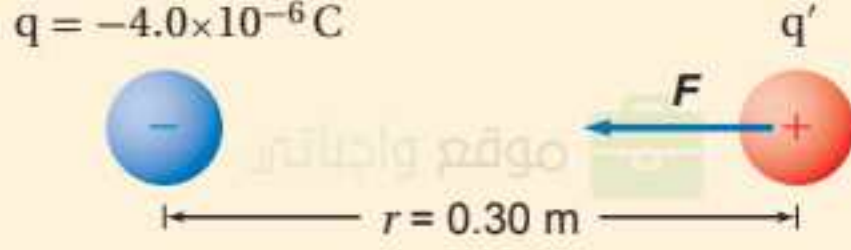
- هل الوحدات صحيحة؟ وحدة قياس شدة المجال الكهربائي N/C .
- هل للاتجاه معنى؟ اتجاه المجال في اتجاه القوة الكهربائية المؤثرة نفسه؛ لأن شحنة الاختبار موجبة.
- هل الجواب منطقي؟ شدة المجال تتفق مع القيم الموجودة في الجدول 9-1.

مثال 2

شدة المجال الكهربائي ما شدة المجال الكهربائي عند نقطة تبعد 0.30 m تقع عن يمين كرة صغيرة مشحونة بشحنة مقدارها $-4.0 \times 10^{-6} \text{ C}$ ؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم الكرة، وبيّن شحنتها q وشحنة الاختبار q' على الرسم.
- حدّد المسافة بين الشحنتين، وسمّها.
- ارسم متجه القوة المؤثرة في شحنة الاختبار q' ، وسمّه.



المجهول

$$E = ?$$

المعلوم

$$q = -4.0 \times 10^{-6} \text{ C}$$

$$r = 0.30 \text{ m}$$

2 إيجاد الكمية المجهولة

إن مقدار كلّ من القوة وشحنة الاختبار مجهول، لذا استخدم قانون المجال الكهربائي وقانون كولوم معًا.

$$E = \frac{F}{q'}$$

$$= K \frac{qq'}{r^2 q'}$$

$$= K \frac{q}{r^2}$$

$$= (9.0 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2) \frac{(-4.0 \times 10^{-6} \text{ C})}{(0.30 \text{ m})^2}$$

$$= -4.0 \times 10^5 \text{ N/C}$$

في اتجاه الكرة أو في اتجاه اليسار $E = 4.0 \times 10^5 \text{ N/C}$

$$F = K \frac{qq'}{r^2} \text{ بالتعويض عن}$$

بالتعويض عن

$$q = -4.0 \times 10^{-6} \text{ C}, d = 0.30 \text{ m}$$

$$K = 9.0 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$$

3 تقويم الجواب

- هل الوحدات صحيحة؟ $(\text{N.m}^2/\text{C}^2)(\text{C})/\text{m}^2 = \text{N/C}$. تكون الوحدات الناتجة N/C وهي صحيحة لشدة المجال الكهربائي.
- هل للاتجاهات معنى؟ تشير الإشارة السالبة إلى أن شحنة الاختبار الموجبة تنجذب إلى الشحنة النقطية السالبة.
- هل الجواب منطقي؟ شدة المجال متفقة مع القيم الموجودة في الجدول 1-9.

1. يؤثر مجال كهربائي بقوة مقدارها $2.0 \times 10^{-4} \text{ N}$ في شحنة اختبار موجبة مقدارها $5.0 \times 10^{-6} \text{ C}$. ما شدة المجال الكهربائي عند موقع شحنة الاختبار؟

$$E = \frac{F}{q} = \frac{2.0 \times 10^{-4} \text{ N}}{5.0 \times 10^{-6} \text{ C}} = 4.0 \times 10^1 \text{ N/C}$$

2. وُضعت شحنة سالبة مقدارها $2.0 \times 10^{-8} \text{ C}$ في مجال كهربائي، فتأثرت بقوة مقدارها 0.060 N في اتجاه اليمين. ما مقدار واتجاه شدة المجال الكهربائي عند موقع الشحنة؟

$$E = \frac{F}{q} = \frac{0.060 \text{ N}}{2.0 \times 10^{-8} \text{ C}} = 3.0 \times 10^6 \text{ N/C}$$

باتجاه اليسار

3. وُضعت شحنة موجبة مقدارها $3.0 \times 10^{-7} \text{ C}$ في مجال كهربائي شدته 27 N/C . يتجه إلى الجنوب. ما مقدار القوة المؤثرة في الشحنة؟

$$E = \frac{F}{q}$$

$$F = Eq = (27 \text{ N/C})(3.0 \times 10^{-7} \text{ C})$$

$$= 8.1 \times 10^{-6} \text{ N}$$

4. وُضعت كرة بيلسان وزنها $2.1 \times 10^{-3} \text{ N}$ في مجال كهربائي شدته $6.5 \times 10^4 \text{ N/C}$ ، يتجه رأسياً إلى أسفل. ما مقدار الشحنة التي يجب أن توضع على الكرة ونوعها، بحيث توازن القوة الكهربائية المؤثرة فيها قوة الجاذبية الأرضية، وتبقى الكرة معلقة في المجال؟

بما أن الكرة معلقة في المجال أي لا تتحرك؛ فإن المجموع الجبري للقوة الكهربائية وقوة الجاذبية الأرضية يساوي صفراً.

$$F_g + F_e = 0,$$

$$F_e = -F_g \text{ أي}$$

$$E = \frac{F_e}{q}$$

$$q = \frac{F_e}{E} = -\frac{F_g}{E} = -\frac{2.1 \times 10^{-3} \text{ N}}{6.5 \times 10^4 \text{ N/C}} = -3.2 \times 10^{-8} \text{ C}$$

وبما أن القوة الكهربائية إلى أعلى (عكس المجال الكهربائي) لذا؛ فالشحنة سالبة.

5. يفحص زيد المجال الكهربائي الناشئ عن شحنة مجهولة المقدار والنوع. فيرسم أولاً المجال بشحنة اختبار مقدارها $1.0 \times 10^{-6} \text{ C}$ ، ثم يكرر عمله بشحنة اختبار أخرى مقدارها $2.0 \times 10^{-6} \text{ C}$.
a. هل يحصل زيد على القوى نفسها في الموقع نفسه عند استخدام شحنتي الاختبار؟ وضح إجابتك.

لا، ستكون القوة المؤثرة في الشحنة $2.0 \times 10^{-6} \text{ C}$ ضعفي القوة المؤثرة في الشحنة $1.0 \times 10^{-6} \text{ C}$.

b. هل يجد زيد أن شدة المجال هي نفسها عند استخدام شحنتي الاختبار؟ وضح إجابتك.

نعم، لأنه سيقسم القوة على مقدار شحنة الاختبار، والنتيجة ستكون نفسها.

6. ما مقدار المجال الكهربائي عند نقطة تبعد 1.2 m عن شحنة نقطية مقدارها $+4.2 \times 10^{-6} \text{ C}$ ؟

$$E = \frac{F}{q'} = K \frac{q}{r^2}$$

$$= (9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2) \frac{(4.2 \times 10^{-6} \text{ C})}{(1.2 \text{ m})^2}$$

$$= 2.6 \times 10^4 \text{ N/C}$$

7. ما شدة المجال الكهربائي عند نقطة تقع على بُعد يساوي ضعف البعد عن الشحنة النقطية الواردة في المسألة السابقة؟

لأن شدة المجال الكهربائي تتناسب عكسياً مع مربع البعد عن الشحنة النقطية، فإن شدة المجال الجديدة تساوي $\frac{1}{4}$ شدة المجال الأصلي أي $6.5 \times 10^3 \text{ N/C}$.

8. ما شدة المجال الكهربائي عند نقطة تبعد 1.6 m إلى الشرق من شحنة نقطية مقدارها $+7.2 \times 10^{-6} \text{ C}$ ؟

$$E = \frac{F}{q'} = K \frac{q}{r^2}$$

$$= (9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2) \frac{(7.2 \times 10^{-6} \text{ C})}{(1.6 \text{ m})^2}$$

$$= 2.5 \times 10^4 \text{ N/C}$$

ويكون اتجاه المجال الكهربائي نحو الشرق أي بعيداً عن الشحنة النقطية الموجبة.

9. إذا كانت شدة المجال الكهربائي الناشئ على بُعد 0.25 m من كرة صغيرة مشحونة يساوي 450 N/C ويتجه نحو الكرة فما مقدار ونوع شحنة الكرة؟

$$E = \frac{F}{q'} = K \frac{q}{r^2}$$

$$q = \frac{Er^2}{K}$$

$$= \frac{(450 \text{ N/C})(0.25 \text{ m})^2}{(9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2)} = 3.1 \times 10^{-9} \text{ C}$$

الشحنة سالبة ؛ لأن المجال يتجه نحوها.

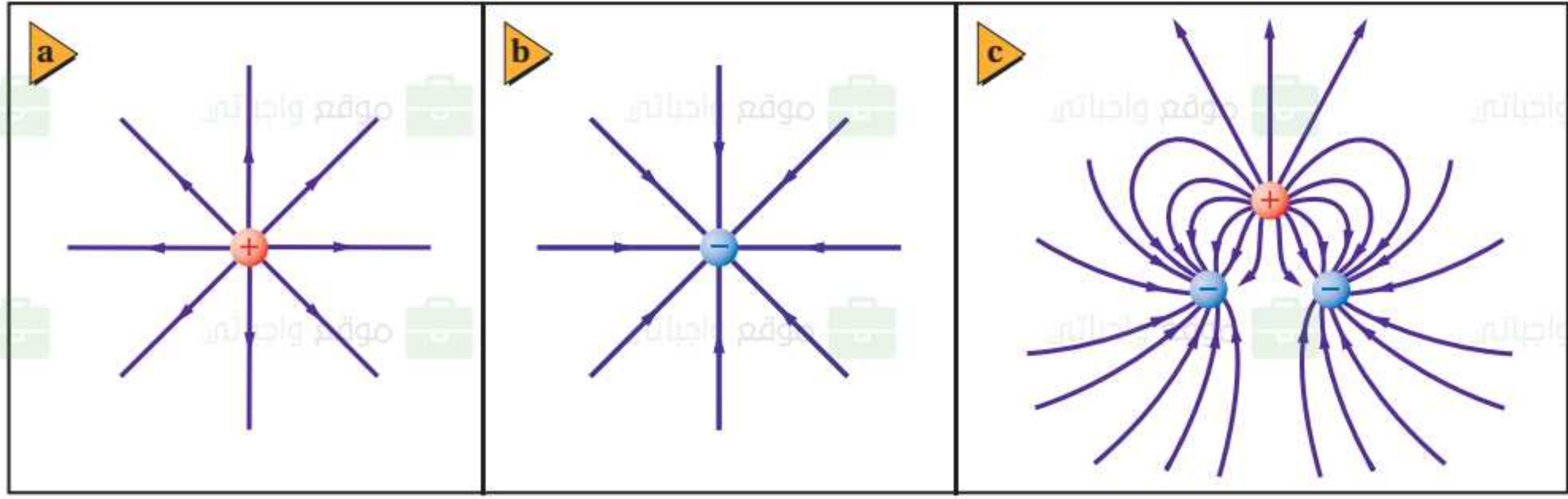
10. على أي بُعد من شحنة نقطية مقدارها $4.2 \times 10^{-6} \text{ C}$ يجب وضع شحنة اختبار للحصول على مجال كهربائي شدته 360 N/C؟

$$E = \frac{F}{q'} = K \frac{q}{r^2}$$

$$r = \sqrt{\frac{Kq}{E}}$$

$$= \frac{(9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2)(2.4 \times 10^{-6} \text{ C})}{360 \text{ N/C}}$$

$$= 7.7 \text{ m}$$



تمثيل المجال الكهربائي Picturing the Electric Field

يُظهر الرسم في الشكل 9-2 شكل خطوط المجال الكهربائي. وكل خط من هذه الخطوط المستخدمة لتمثيل المجال الكهربائي الفعلي في الفراغ أو الوسط المحيط بالشحنة يسمى **خط المجال الكهربائي**. ويكون اتجاه المجال الكهربائي عند أي نقطة هو اتجاه المماس المرسوم على خط المجال عند تلك النقطة. وتشير المسافات الفاصلة بين خطوط المجال الكهربائي إلى شدة المجال الكهربائي؛ فكلما كانت هذه الخطوط متقاربة كان المجال الكهربائي أقوى، وكلما كانت الخطوط متباعدة كان المجال الكهربائي أضعف. وقد مثلت خطوط المجال هنا في بُعدين، إلا أنها - في الحقيقة - تنتشر في ثلاثة أبعاد.

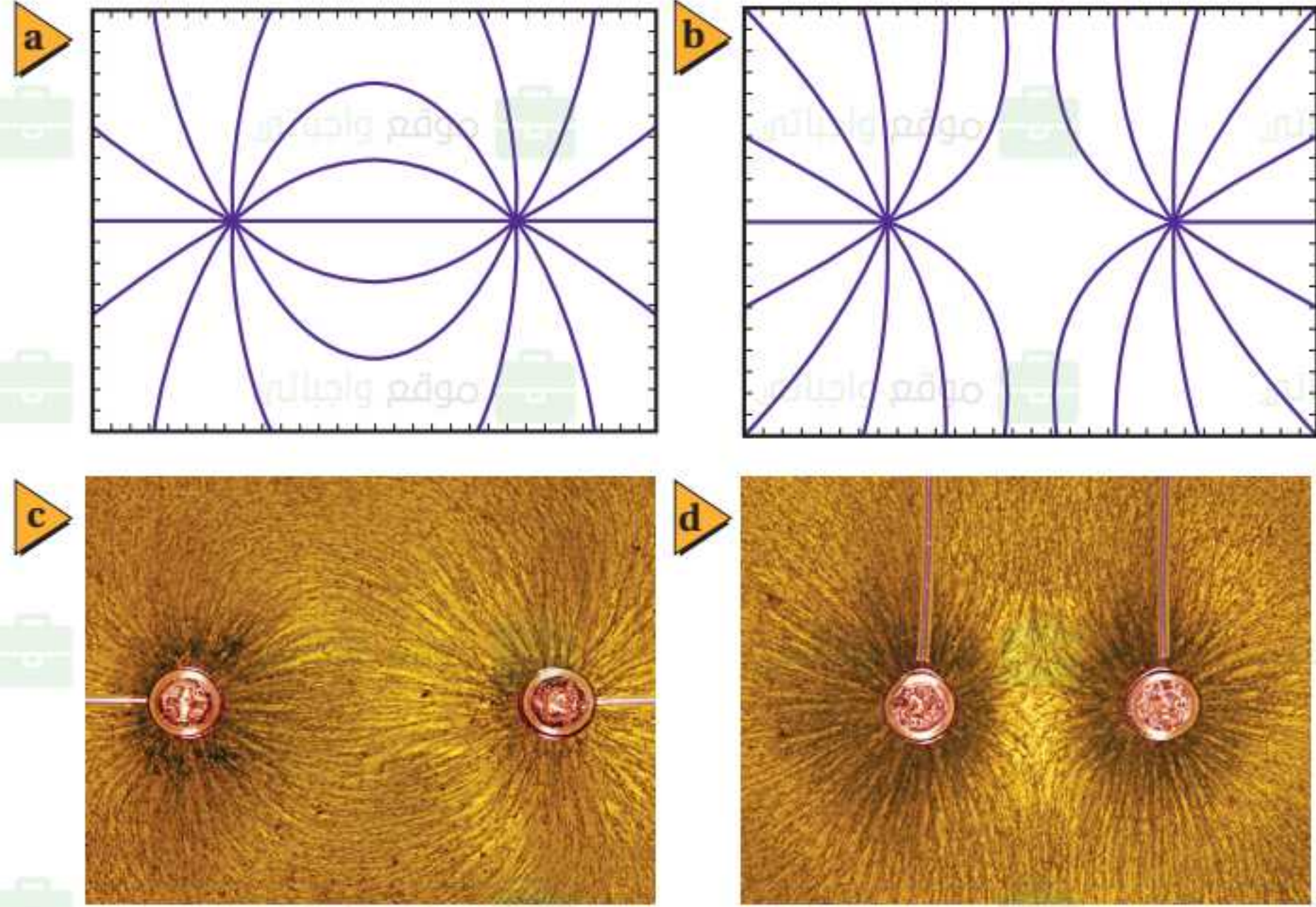
يكون اتجاه القوة الكهربائية المؤثرة في شحنة اختبار موجبة موضوعة بالقرب من شحنة موجبة في اتجاه الخط المبتعد عن الشحنة الموجبة؛ أي في اتجاه الخط الخارج منها. لذا تنتشر خطوط المجال شعاعياً إلى الخارج كما هو موضح في الشكل 9-2a مثل أسلاك عجالات الدراجة الهوائية. أما اتجاه القوة الكهربائية المؤثرة في شحنة اختبار موجبة موضوعة بالقرب من شحنة سالبة فهو في اتجاه الخط المقرب من الشحنة السالبة؛ أي في اتجاه الخط الداخل إليها، كما هو موضح في الشكل 9-2b. وفي حالة وجود شحنتين أو أكثر يكون المجال الناتج عبارة عن الجمع الاتجاهي للمجالات الناتجة عن هذه الشحنات، وعندما تصبح خطوط المجال منحنية وأنهاطها أكثر تعقيداً، كما هو موضح في الشكل 9-2c. لاحظ أن خطوط المجال الكهربائي تخرج دائماً من الشحنة الموجبة وتدخل إلى الشحنة السالبة، ولا يمكن أن تتقاطع مطلقاً.

هناك طريقة أخرى لتمثيل خطوط المجال الكهربائي تتلخص في استخدام بذور أعشاب في سائل عازل، مثل الزيت المعدني. حيث تؤدي القوى الكهربائية إلى فصل الشحنة التي على كل بذرة أعشاب طويلة ورفيعة، مما يسبب دوران البذور بحيث تصطف في اتجاه المجال الكهربائي، ومن ثم تشكل نمطاً لخطوط المجال الكهربائي، كما هو موضح في الشكل 9-3. وخطوط المجال الكهربائي خطوط وهمية لا وجود لها في الواقع، وهي وسيلة لتقديم نموذج للمجال الكهربائي. أما المجالات الكهربائية فهي موجودة،

الشكل 9-2 رُسمت خطوط القوى بصورة متعامدة خارجة من جسم شحنته موجبة (a)، ورُسمت بصورة متعامدة داخلية إلى جسم شحنته سالبة (b). ورُسمت خطوط المجال الكهربائي بين جسمين سالبين الشحنة وآخر شحنته موجبة (c).

الشكل 3-9 تصف خطوط القوة

بين الشحنات المختلفة (a و c)، وبين الشحنات المتشابهة (b و d) سلوك جسم مشحون بشحنة موجبة في مجال كهربائي. والصورتان في الأعلى (b و a) رسم تصويري لخطوط المجال الكهربائي للصورتين السفليتين تم تنفيذه بالحاسوب.



وعلى الرغم من أنها توفر طريقة لحساب القوة المؤثرة في جسم مشحون إلا أنها لا توضح لماذا تؤثر الأجسام المشحونة بعضها في بعض بقوة.

ابتكر روبرت فان دي جراف في ثلاثينيات القرن العشرين مولد الكهرباء الساكنة ذا الفولتية الكبيرة الموضح في الشكل 4a-9. وهو جهاز يعمل على نقل كميات كبيرة من الشحنة الكهربائية من جزء محدد من الآلة إلى طرفها العلوي الفلزي. ويتم ذلك بنقل الشحنة إلى حزام متحرك عند قاعدة الجهاز عند الموضع A، ثم تنتقل هذه الشحنات من الحزام إلى القبة الفلزية في الأعلى عند الموضع B. ويبدل المحرك الكهربائي الشغل اللازم لزيادة فرق الجهد الكهربائي. ويُشحن الشخص كهربائياً عندما يلمس قبة مولد فان دي جراف الفلزية؛ حيث تؤدي هذه الشحنات إلى تنافر شعر الشخص بعضه عن بعض، مسبباً تغير اتجاهه، فيصبح اتجاه الشعر في اتجاه خطوط المجال الكهربائي، كما هو موضح في الشكل 4b-9.

الشكل 4-9 في مولد فان دي

جراف (a)، تنتقل الشحنات إلى الحزام المتحرك عند النقطة A، ثم تنتقل من الحزام المتحرك إلى القبة الفلزية عند B. ويبدل المحرك الكهربائي الشغل اللازم لزيادة فرق الجهد الكهربائي. وعندما يلمس شخص قبة مولد فان دي جراف تكون النتائج مثيرة (b).



11. قياس المجالات الكهربائية افترض أنه طلب إليك قياس المجال الكهربائي في مكان أو فضاء معين، فكيف تستكشف وجود المجال عند نقطة معينة في ذلك الفضاء؟ وكيف تحدد مقدار المجال؟ وكيف تختار مقدار شحنة الاختبار؟ وكيف تحدد اتجاه المجال؟

يمكنك استكشاف المجال بوضع شحنة اختبار عند تلك النقطة، ثم تحدد ما إذا كانت هناك قوة تؤثر فيها. ولحساب مقدار المجال قسم مقدار القوة المؤثرة في شحنة الاختبار على مقدار شحنة الاختبار. أما عن اختيار مقدار شحنة الاختبار فعليك مراعاة أن يكون مقدارها صغير جداً مقارنة بمقادير الشحنات التي تولد المجال. بعد ذلك حدد اتجاه القوة المؤثرة في شحنة الاختبار وذلك لتحديد اتجاه المجال.

12. شدة المجال واتجاهه تؤثر قوة كهربائية مقدارها $1.50 \times 10^{-3} \text{ N}$ في اتجاه الشرق في شحنة اختبار موجبة مقدارها $2.40 \times 10^{-8} \text{ C}$ ، أوجد المجال الكهربائي في موقع شحنة الاختبار.

$$E = \frac{F}{q} = \frac{1.50 \times 10^{-3} \text{ N}}{2.40 \times 10^{-8} \text{ C}}$$

في اتجاه الشرق $6.25 \times 10^4 \text{ N/C}$

13. خطوط المجال الكهربائي في الشكل 3-9، هل يمكنك تحديد أي الشحنتين موجبة، وأيها سالبة؟ ماذا تضيف لإكمال خطوط المجال؟

لا. يجب أن يكون لخطوط المجال رؤوس أسهم تشير إلى اتجاهها، حيث تكون خارجة من الشحنة الموجبة وداخلة إلى الشحنة السالبة.

14. المجال مقابل القوة كيف يختلف تأثير المجال الكهربائي E في شحنة اختبار عن تأثير القوة F في شحنة الاختبار نفسها؟

يعد المجال خاصية لتلك المنطقة من الفضاء، ولا يعتمد على شحنة الاختبار المستخدمة في قياسه. بينما تعتمد القوة الكهربائية على مقدار شحنة الاختبار ونوعها.

15. **التفكير الناقد** افترض أن الشحنة العلوية في الشكل 2c-9 هي شحنة اختبار موضوعة في ذلك المكان؛ لقياس محصلة المجال الناشئ عن الشحنتين السالبتين. هل الشحنة صغيرة بدرجة كافية للقيام بعملية القياس بدقة؟ وضح إجابتك.

لا. هذه الشحنة كبيرة بمقدار كافٍ لتوليد مجال كهربائي قادر على تشويه المجال الناتج عن الشحنتين الأخريين.



2-9 تطبيقات المجالات الكهربائية Applications of Electric Fields

الأهداف

- تُعرّف فرق الجهد الكهربائي.
- تحسب فرق الجهد من خلال الشغل اللازم لتحريك شحنة.
- تصف كيفية توزيع الشحنات على الموصلات المصمتة والجوفاء.
- تحل بعض المسائل على السعة الكهربائية.

المفردات

- فرق الجهد الكهربائي
- الفولت
- سطح تساوي الجهد
- المكثف الكهربائي
- السعة الكهربائية

إن مفهوم الطاقة مفيد جداً في الميكانيكا، كما تعلمت من قبل. ويُمكننا قانون حفظ الطاقة من حل مسائل الحركة بغير حاجة إلى معرفة تفاصيل القوى المؤثرة. وينطبق الشيء نفسه على دراسة التفاعلات الكهربائية؛ فقد يؤدي الشغل المبذول في تحريك جسيم مشحون في مجال كهربائي إلى اكتساب هذا الجسيم طاقة وضع كهربائية أو طاقة حركية أو كليهما. ولأن موضوعات هذا الفصل تستقصي الشحنات الساكنة لذا سيتم مناقشة التغير في طاقة الوضع فقط.

الطاقة والجهد الكهربائيان Energy and Electric Potential

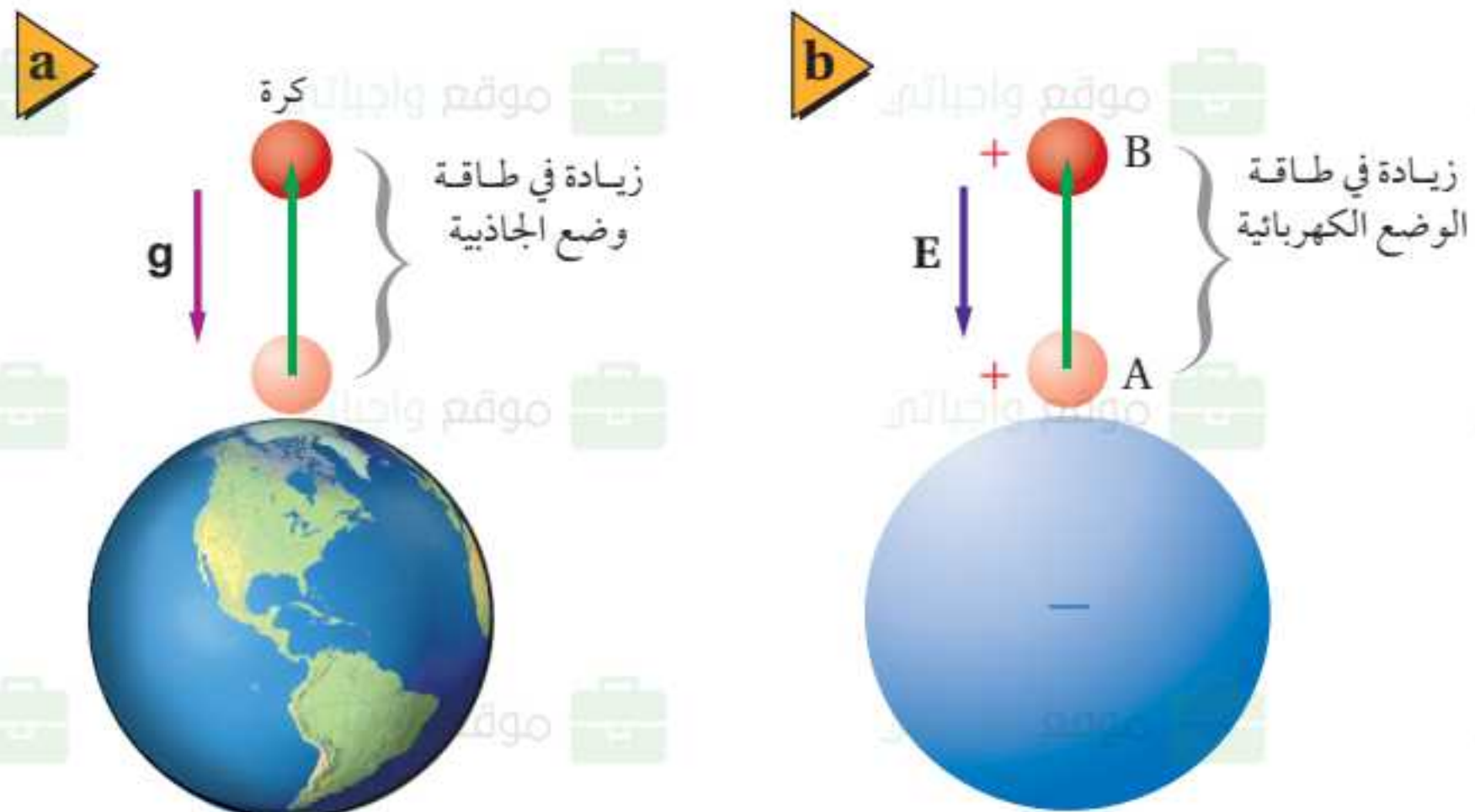
تذكر التغير في طاقة وضع الجاذبية لكرة عند رفعها، كما هو موضح في الشكل 5-9. إن كلاً من قوة الجاذبية F ومجال الجاذبية $g = \frac{F}{m}$ يتجه نحو الأرض. فإذا رفعت كرة في اتجاه معاكس لاتجاه قوة الجاذبية فإنك تبذل شغلاً عليها، مما يؤدي إلى زيادة طاقة وضعها. وهذه الحالة ماثلة لحالة شحنتين مختلفتين في النوع؛ حيث تجذب كل منهما الأخرى، لذا يجب أن تبذل شغلاً لسحب إحدى الشحنتين وإبعادها عن الأخرى. وعندما تبذل ذلك الشغل تكون قد نقلت طاقة إلى الشحنة، حيث تحتزن هذه الطاقة فيها على شكل طاقة وضع كهربائية، وكلما زاد مقدار الشحنة كانت الزيادة في طاقة وضعها الكهربائية ΔPE أكبر.

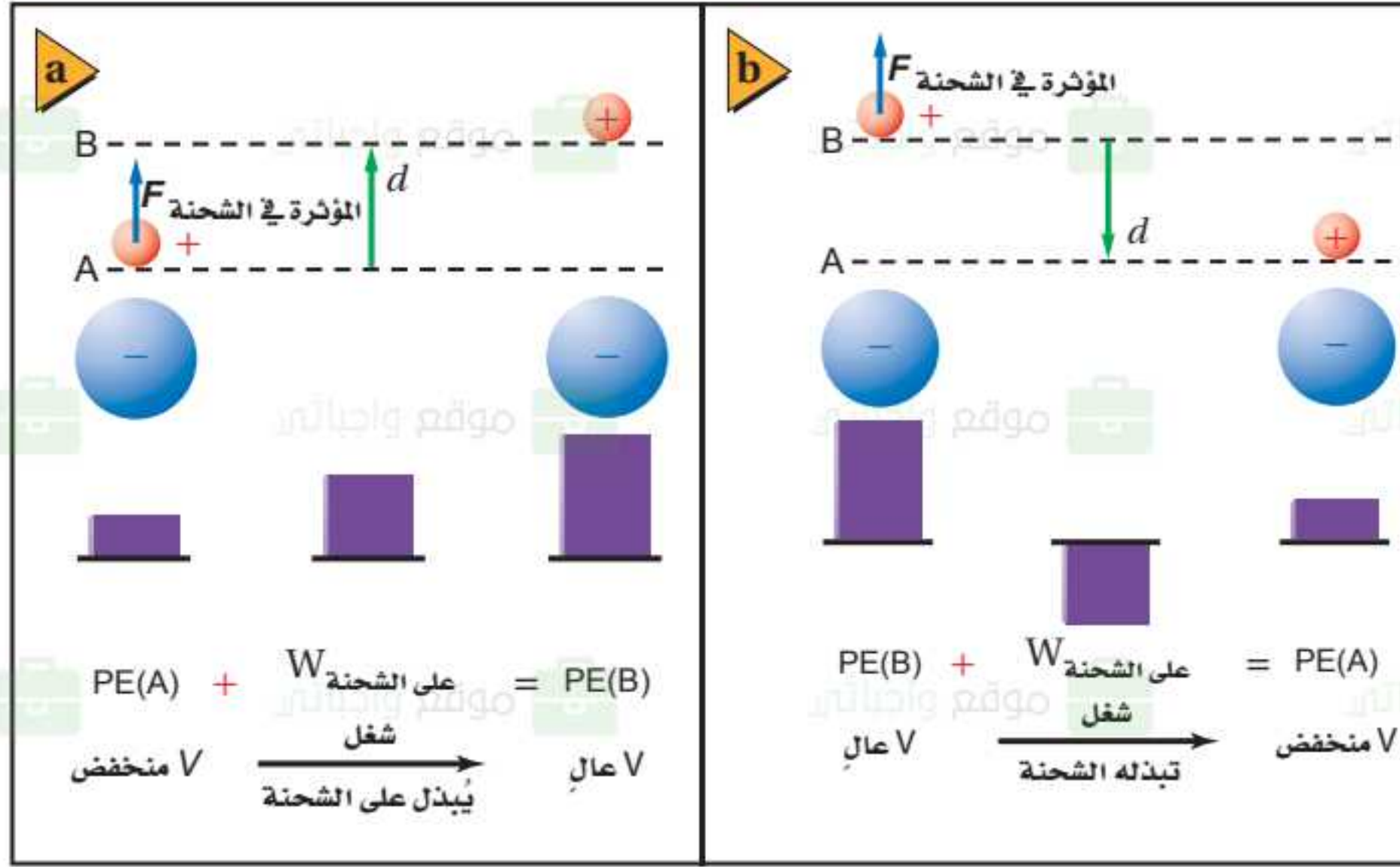
على الرغم من اعتماد القوة الكهربائية المؤثرة في شحنة الاختبار q' على مقدارها، إلا أن المجال الكهربائي في موقعها لا يعتمد عليه؛ حيث إن المجال الكهربائي $E = \frac{F}{q'}$ هو القوة لكل وحدة شحنة. وبطريقة مشابهة يُعرّف **فرق الجهد الكهربائي** ΔV بين نقطتين بأنه الشغل المبذول لتحريك شحنة اختبار موجبة بين نقطتين داخل مجال كهربائي مقسوماً على مقدار تلك الشحنة. أي الشغل المبذول لكل وحدة شحنة.

$$\Delta V = \frac{W_{q'}}{q'}$$

الفرق في الجهد الكهربائي هو النسبة بين الشغل اللازم لتحريك شحنة ومقدار تلك الشحنة.

الشكل 5-9 هناك حاجة إلى بذل شغل لتحريك جسم في اتجاه معاكس لاتجاه قوة الجاذبية الأرضية (a)، وفي اتجاه معاكس لاتجاه القوة الكهربائية (b). وفي كلتا الحالتين ستزداد طاقة وضع الجسم.





الشكل 6-9 يُحسب فرق الجهد الكهربائي من خلال قياس الشغل المبذول لكل وحدة شحنة. يزداد فرق الجهد الكهربائي عند إبعاد الشحنات المختلفة بعضها عن بعض (a). ويقل فرق الجهد الكهربائي عند تقريب الشحنات المختلفة بعضها إلى بعض (b).

ويُقاس فرق الجهد الكهربائي بوحدة جول لكل كولوم، ويسمى الجول الواحد لكل كولوم **الفولت**، ويعبر عنه بالرموز $V = J/C$.

ادرس الحالة الموضحة في الشكل 6-9، حيث تولد الشحنة السالبة مجالاً كهربائياً متجهاً نحوها. افترض أنك وضعت شحنة اختبار صغيرة موجبة عند النقطة A، ستتأثر عندها الشحنة بقوة في اتجاه المجال. وإذا حركت الآن شحنة الاختبار الموجبة بعيداً عن الشحنة السالبة إلى النقطة B، كما هو موضح في الشكل 6-9a، فعليك التأثير فيها بقوة F . ولأن اتجاه القوة التي أثرت بها في شحنة الاختبار في اتجاه الإزاحة نفسه لذا يكون الشغل الذي بذلته على هذه الشحنة موجباً. وسيكون التغير في فرق الجهد الكهربائي موجباً أيضاً؛ فالتغير في فرق الجهد الكهربائي لا يعتمد على مقدار شحنة الاختبار، بل على المجال الكهربائي والإزاحة فقط.

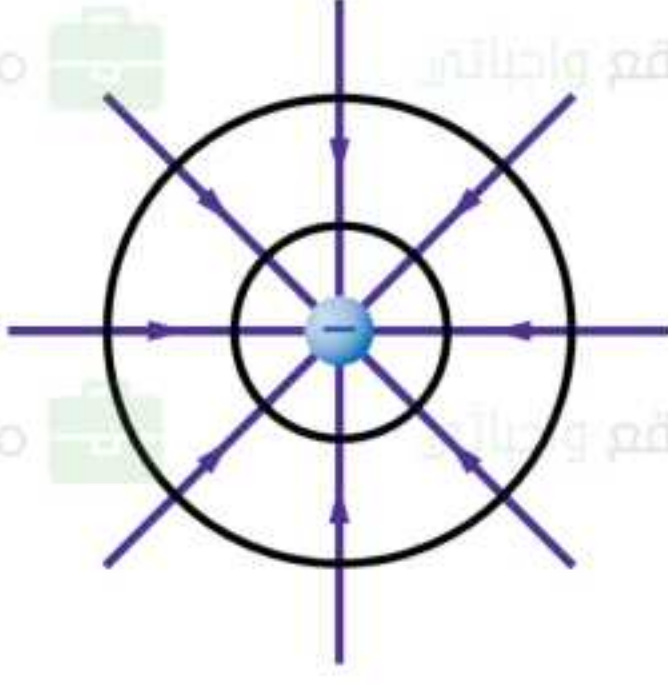
افترض أنك حركت شحنة الاختبار مرة أخرى من النقطة B إلى النقطة A كما هو موضح في الشكل 6-9b، فسيكون اتجاه القوة التي تؤثر بها في عكس اتجاه الإزاحة، لذا يكون الشغل الذي تبذله سالباً. وسيكون فرق الجهد الكهربائي سالباً أيضاً ومساوياً ومعاكساً لفرق الجهد الكهربائي عند نقل الشحنة من النقطة A إلى النقطة B. ولا يعتمد فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين على المسار الذي يُسلك للحركة من نقطة إلى أخرى، بل يعتمد على موقع النقطتين.

هل هناك دائماً فرق جهد كهربائي بين نقطتين؟ افترض أنك حركت شحنة الاختبار في مسار دائري حول الشحنة السالبة. ويُحدث المجال الكهربائي قوة يؤثر بها في شحنة الاختبار ويكون المجال دائماً عمودياً على اتجاه حركة القوة، ولذلك لا تبذل شغلاً في تحريك الشحنة، لذا فإن فرق الجهد الكهربائي بين أي نقطتين على المسار الدائري يساوي

تطبيق الفيزياء

الكهرباء الساكنة تحتوي الأجهزة الإلكترونية الحديثة - ومنها الحواسيب الشخصية - على أجزاء يمكن أن تتلف بسهولة نتيجة تفريغ الكهرباء الساكنة. ولحماية هذه الأجزاء الحساسة من الأضرار التي قد تنتج خلال الصيانة، على الفني ارتداء سوار فلزي حول معصمه، على أن يكون السوار متصلاً بسلك، وأن يتصل الطرف الآخر للسلك بقطعة فلزية مؤرضة؛ حيث يعمل السوار الفلزي على تفريغ الشحنات الزائدة على الفني في الأرض، ويزيل أي فرق جهد كهربائي قد يتكون مع المعدات المؤرضة.

صفرًا. وعندما يكون فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين أو أكثر يساوي صفرًا نسمي هذه النقاط **سطح تساوي الجهد**، كما هو موضح في الشكل 7-9.

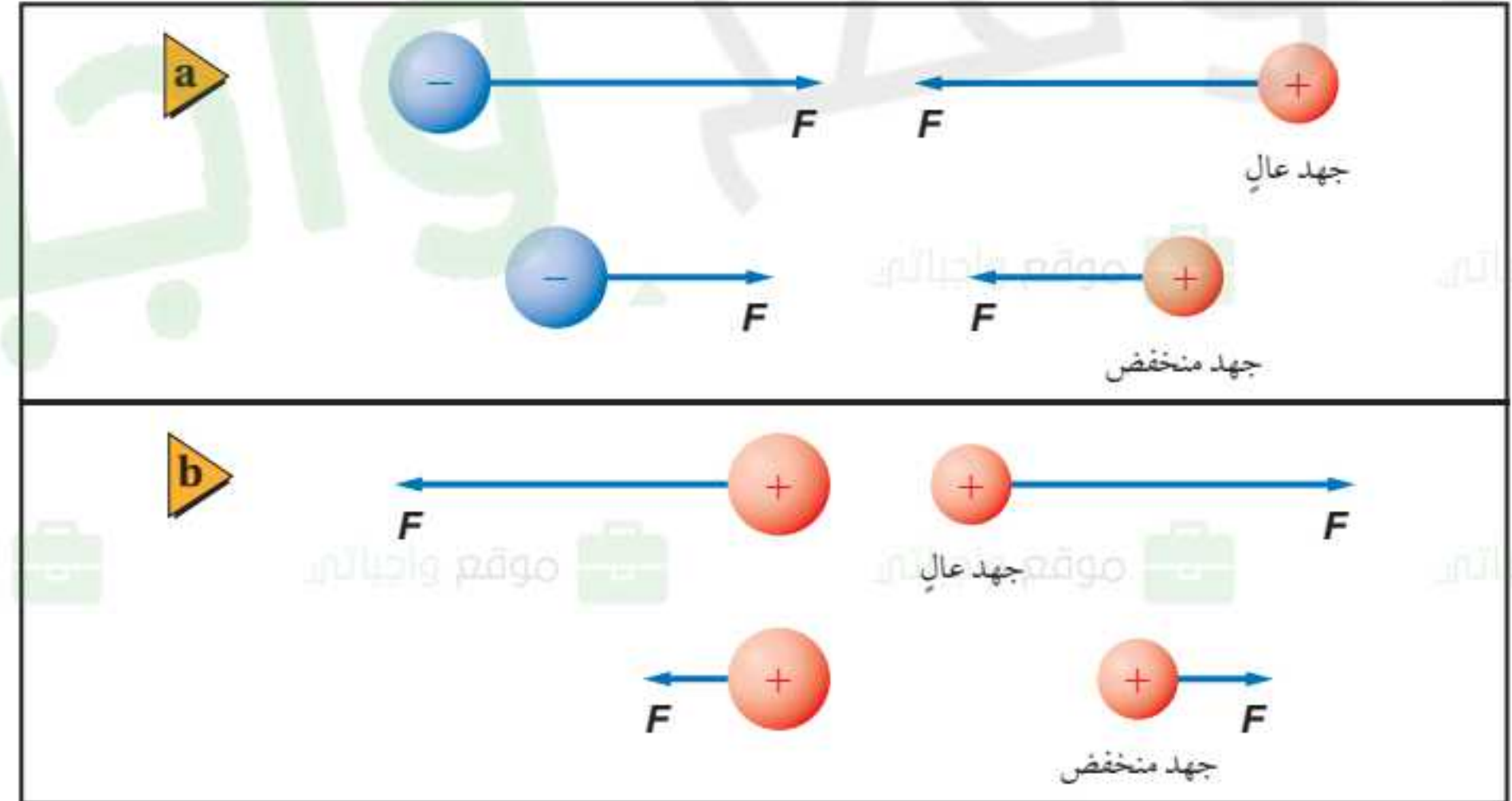


الشكل 7-9 فرق الجهد الكهربائي بين أي نقطتين على أي مسار دائري حول شحنة يساوي صفر.

يمكن قياس التغيرات في طاقة الوضع الكهربائية فقط. وينطبق الشيء نفسه على الجهد الكهربائي، لذا تكون التغيرات في الجهد الكهربائي هي المهمة فقط. ويعرّف فرق الجهد الكهربائي عند الحركة من النقطة A إلى النقطة B على أنه $\Delta V = V_B - V_A$ ، ويقاس بجهاز الفولتметр. ويُسمى فرق الجهد الكهربائي أحيانًا الجهد الكهربائي أو الفولتية؛ وذلك على سبيل التبسيط. ويجب التفريق بين فرق الجهد الكهربائي ΔV ووحدة قياسه فولت V.

عرفت أن فرق الجهد الكهربائي يزداد عند إبعاد شحنة اختبار موجبة عن شحنة سالبة، والآن ماذا يحدث عند إبعاد شحنة اختبار موجبة عن شحنة موجبة؟ هناك قوة تنافر بين هاتين الشحنتين، وعند إبعاد شحنة الاختبار الموجبة عن الشحنة الموجبة تقل طاقة وضعها الكهربائية. لذا يكون الجهد الكهربائي أقل عند النقاط البعيدة عن الشحنة الموجبة، كما هو موضح في الشكل 8-9.

الشكل 8-9 في أثناء تقريب شحنة اختبار إلى شحنة مخالفة لها في النوع يقل الجهد عند مواقع شحنة الاختبار (a)، في حين يزداد الجهد عند مواقع شحنة الاختبار في أثناء تقريبها إلى شحنة مماثلة لها في النوع (b).



تعلمت سابقًا أنه يمكن تعريف مقدار طاقة الوضع لنظام ما بأنها تساوي صفرًا عند أي نقطة إسناد. وبالطريقة نفسها يمكن تعريف مقدار الجهد الكهربائي لأي نقطة بأنه يساوي صفرًا. وسيكون مقدار فرق الجهد الكهربائي بين النقطة A والنقطة B هو نفسه دائمًا، بغض النظر عن نقطة الإسناد المختارة.

الجهود الكهربائي في مجال كهربائي منتظم

The Electric Potential in a Uniform Field

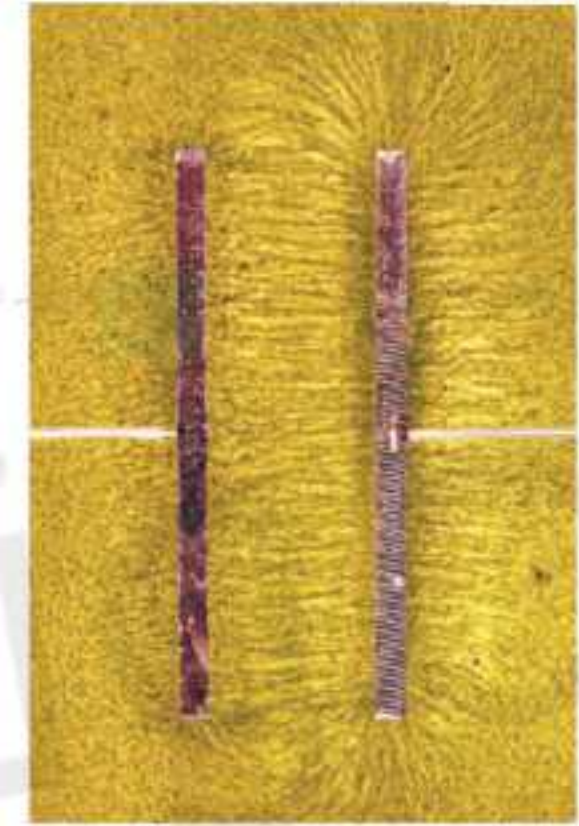
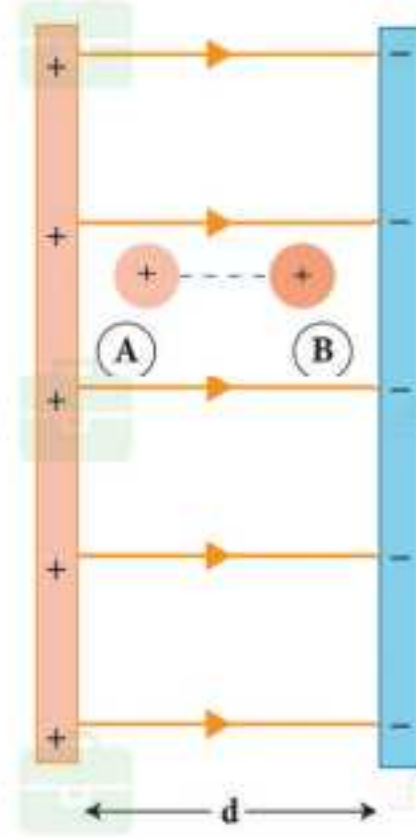
يمكننا الحصول على قوة كهربائية ثابتة ومجال كهربائي منتظم بوضع لوحين موصلين مستويين أحدهما مواز للآخر، على أن يُشحن أحدهما بشحنة موجبة، ويُشحن الآخر بشحنة سالبة. يكون المجال الكهربائي بين اللوحين ثابتاً مقداراً واتجاهاً عند النقاط جميعها ما عدا النقاط التي تكون عند حواف اللوحين، ويكون اتجاه المجال الكهربائي من اللوح الموجب إلى اللوح السالب. ويمثل النمط المُشكّل من بذور الأعشاب الموضّح في الشكل 9-9 المجال الكهربائي بين لوحين متوازيين.

إذا حُرّكت شحنة اختبار موجبة q' مسافة d في عكس اتجاه المجال الكهربائي من النقطة B إلى النقطة A كما هو موضح في الشكل 9-9 فإنه يمكننا حساب الشغل المبذول عليها بالعلاقة الآتية: $W = Fd = q'Ed$. لذا يكون فرق الجهود الكهربائي؛ أي الشغل المبذول لكل وحدة شحنة، مساوياً $\Delta V = \frac{Fd}{q'} = \frac{F}{q'}d$. ولكن شدة المجال الكهربائي هي القوة لكل وحدة شحنة $E = \frac{F}{q'}$ ، لذا يُعبّر عن فرق الجهود الكهربائي (ΔV) بين نقطتين المسافة بينهما d في مجال كهربائي منتظم E بالمعادلة الآتية:

$$\Delta V = Ed$$

فرق الجهود الكهربائي في مجال كهربائي منتظم يساوي حاصل ضرب شدة المجال الكهربائي في المسافة التي تحركتها الشحنة.

يزداد الجهود الكهربائي كلما تحركنا في اتجاه معاكس لاتجاه المجال الكهربائي؛ أي أن الجهود الكهربائي لشحنة اختبار موجبة يكون أكبر بالقرب من اللوح الموجب. وباستخدام تحليل الوحدات يكون حاصل ضرب وحدة E في وحدة d هو $(N/C)(m)$ ، وهذا يكافئ $1 J/C$ ، الذي يُعدّ تعريفاً لـ $1 V$.



الشكل 9-9 تمثيل لمجال كهربائي بين لوحين متوازيين.

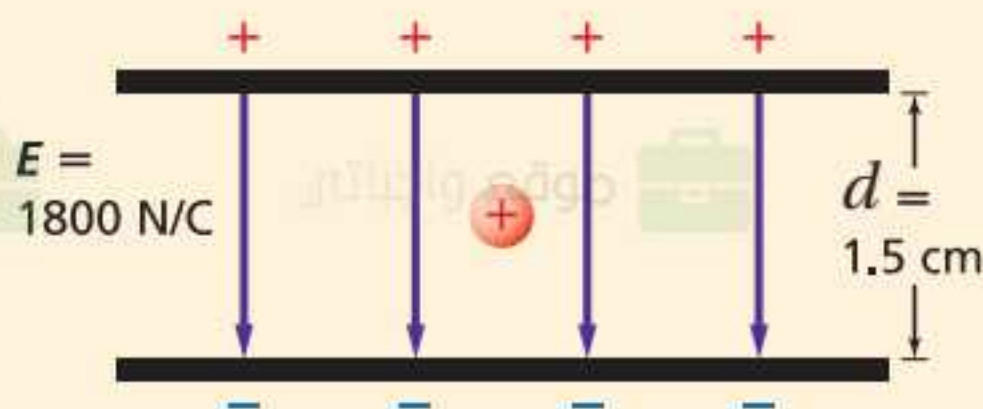
مثال 3

الشغل المبذول لنقل بروتون بين لوحين متوازيين مشحونين لوحان متوازيان مشحونان المسافة بينهما 1.5 cm ، ومقدار المجال الكهربائي بينهما 1800 N/C . احسب مقدار:

- فرق الجهود الكهربائي بين اللوحين.
- الشغل المبذول لنقل بروتون من اللوح السالب الشحنة إلى اللوح الموجب الشحنة.

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم اللوحين على أن يكون البعد بينهما 1.5 cm
- ميّز اللوحين بوضع شحنات موجبة على أحدهما، وشحنات سالبة على الآخر.
- ارسم خطوط المجال الكهربائي، على أن تكون المسافات بين هذه الخطوط متساوية، وأن تتجه الخطوط من اللوح الموجب إلى اللوح السالب.
- بيّن شدة المجال الكهربائي بين اللوحين على الرسم.
- ضع بروتوناً في المجال الكهربائي.



دليل الرياضيات

إجراء العمليات الرياضية بتعبيراتها العلمية

المجهول

$$\Delta V = ?$$

$$W = ?$$

المعلوم

$$E = 1800 \text{ N/C}$$

$$d = 1.5 \text{ cm}$$

$$q = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$$

2 إيجاد الكمية المجهولة

$$\Delta V = Ed$$

$$= (1800 \text{ N/C})(0.015 \text{ m})$$

$$= 27 \text{ V}$$

$$\Delta V = \frac{W}{q}$$

$$W = q\Delta V$$

$$= (1.60 \times 10^{-19} \text{ C})(27 \text{ V})$$

$$= 4.3 \times 10^{-18} \text{ J}$$

a. أوجد فرق الجهد بين اللوحين.

بالتعويض عن $d = 0.015 \text{ m}$, $E = 1800 \text{ N/C}$

b. استخدم معادلة فرق الجهد لحساب الشغل.

بالتعويض عن $\Delta V = 27 \text{ V}$, $q = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$

3 تقويم الجواب

• هل الوحدات صحيحة؟ $(\text{N/C})(\text{m}) = \text{N.m/C} = \text{J/C} = \text{V}$ ، ستكون الوحدة الناتجة هي الفولت، ووحدة الشغل هي $\text{C.V} = \text{C}(\text{J/C}) = \text{J}$.

• هل للإشارات معنى؟ يجب أن يبذل شغل موجب لنقل شحنة موجبة إلى اللوح الموجب.

• هل الجواب منطقي؟ سيكون الشغل المبذول قليلاً لنقل مثل هذه الشحنة الصغيرة ضمن فرق جهد قليل.

مسائل تدريبية

16. شدة المجال الكهربائي بين لوحين فلزيين واسعين متوازيين ومشحونين 6000 N/C ، والمسافة بينهما 0.05 m . احسب فرق الجهد الكهربائي بينهما.
17. إذا كانت قراءة فولتметр متصل بلوحين متوازيين مشحونين 400 V عندما كانت المسافة بينهما 0.020 m ، فاحسب شدة المجال الكهربائي بينهما.
18. عندما طُبّق فرق جهد كهربائي مقداره 125 V على لوحين متوازيين تولّد بينهما مجال كهربائي شدته $4.25 \times 10^3 \text{ N/C}$. ما البعد بين اللوحين؟
19. ما الشغل المبذول لتحريك شحنة 3.0 C خلال فرق جهد كهربائي مقداره 1.5 V ؟
20. يمكن لبطارية سيارة جهدها 12 V ومشحونة بصورة كاملة أن تحتزن شحنة مقدارها $1.44 \times 10^6 \text{ C}$. ما مقدار الشغل الذي يمكن أن تبذله البطارية قبل أن تحتاج إلى إعادة شحنها؟
21. يتحرك إلكترون خلال أنبوب الأشعة المهبطية لتلفاز، فتعرض لفرق جهد مقداره 18000 V . ما مقدار الشغل المبذول على الإلكترون عند عبوره فرق الجهد هذا؟
22. إذا كانت شدة المجال الكهربائي في مسار جسيمات يساوي $4.5 \times 10^5 \text{ N/C}$ ، فما مقدار الشغل المبذول لتحريك بروتون مسافة 25 cm خلال هذا المجال؟

16. شدة المجال الكهربائي بين لوحين فلزيين واسعين متوازيين ومشحونين 6000 N/C ، والمسافة بينهما 0.05 m . احسب فرق الجهد الكهربائي بينهما.

$$\Delta V = Ed = (6000 \text{ N/C})(0.05 \text{ m})$$

$$= 300 \text{ J/C} = 3 \times 10^2 \text{ V}$$

17. إذا كانت قراءة فولتметр متصل بلوحين متوازيين مشحونين 400 V عندما كانت المسافة بينهما 0.020 m ، فاحسب شدة المجال الكهربائي بينهما.

$$\Delta V = Ed$$

$$E = \frac{\Delta V}{d} = \frac{400 \text{ V}}{0.020 \text{ m}} = 2 \times 10^4 \text{ N/C}$$

18. عندما طُبّق فرق جهد كهربائي مقداره 125 V على لوحين متوازيين تولّد بينهما مجال كهربائي شدة $4.25 \times 10^3 \text{ N/C}$. ما البعد بين اللوحين؟

$$\Delta V = Ed$$

$$d = \frac{\Delta V}{E} = \frac{125 \text{ V}}{4.25 \times 10^3 \text{ N/C}} = 2.94 \times 10^{-2} \text{ m}$$

19. ما الشغل المبذول لتحريك شحنة 3.0 C خلال فرق جهد كهربائي مقداره 1.5 V ؟

$$W = q\Delta V = (3.0 \text{ C})(1.5 \text{ V}) = 4.5 \text{ J}$$

20. يمكن لبطارية سيارة جهداها 12 V ومشحونة بصورة كاملة أن تحتزن شحنة مقدارها $1.44 \times 10^6 \text{ C}$. ما مقدار الشغل الذي يمكن أن تبذله البطارية قبل أن تحتاج إلى إعادة شحنها؟

$$W = q\Delta V = (1.44 \times 10^6 \text{ C})(12 \text{ V})$$

$$= 1.7 \times 10^7 \text{ J}$$

21. يتحرك إلكترون خلال أنبوب الأشعة المهبطية لتلفاز، فتعرض لفرق جهد مقداره 18000 V. ما مقدار الشغل المبذول على الإلكترون عند عبوره فرق الجهد هذا؟

$$W = q\Delta V = (1.60 \times 10^{-19} \text{ C})(1.8 \times 10^4 \text{ V})$$

$$= 2.9 \times 10^{-15} \text{ J}$$

22. إذا كانت شدة المجال الكهربائي في مسار جسيمات يساوي $4.5 \times 10^5 \text{ N/C}$ ، فما مقدار الشغل المبذول لتحريك بروتون مسافة 25 cm خلال هذا المجال؟

$$W = q\Delta V = qEd$$

$$= (1.60 \times 10^{-19} \text{ C})(4.5 \times 10^5 \text{ N/C})(0.25 \text{ m})$$

$$= 1.8 \times 10^{-14} \text{ J}$$

المجالات الكهربائية

اربط كرة بيلسان بخيط نايلون طوله 20 cm، واربط الطرف الآخر في منتصف ماصة عصير بلاستيكية. أمسك الماصة أفقياً، وتحقق من أن الكرة معلقة ومتدلية رأسياً إلى أسفل. ثم استخدم قطعة صوف لشحن كل من الكرة ولوح بلاستيكي مربع الشكل أبعاده 30 cm × 30 cm، وبذلك، وثبت اللوح البلاستيكي رأسياً، ثم أمسك الماصة ولا مس الكرة لقطعة الصوف.

1. توقع ماذا يحدث عند تقريب الكرة من اللوح البلاستيكي؟
2. اختبر توقعك بتقريب الكرة ببطء إلى اللوح البلاستيكي.
3. توقع سلوك الكرة في مواقع مختلفة حول اللوح، واختبر توقعاتك.
4. لاحظ زاوية ميلان الخيط عند تحريك الكرة إلى مناطق مختلفة حول اللوح.

التحليل والاستنتاج

5. وضح بدلالة المجال الكهربائي، لماذا تتأرجح الكرة في اتجاه اللوح البلاستيكي المشحون؟

الشحنات المختلفة تتجاذب.

6. قارن بين زوايا ميلان الخيط في نقاط متعددة حول اللوح، ولماذا تتغير زوايا الميلان؟

تكون شدة المجال الكهربائي أكبر بالقرب من مركز اللوح البلاستيكي، وتزداد قيمته بنقصان البعد عن اللوح.

7. استنتج ما الذي تشير إليه زاوية ميلان الخيط فيما يتعلق بشدة المجال الكهربائي واتجاهه؟

كلما زادت شدة المجال الكهربائي زادت زاوية ميل الخيط. وتخضع الكرة لقوة التنافر، لذا يتحرك الخيط في اتجاه المجال الكهربائي.

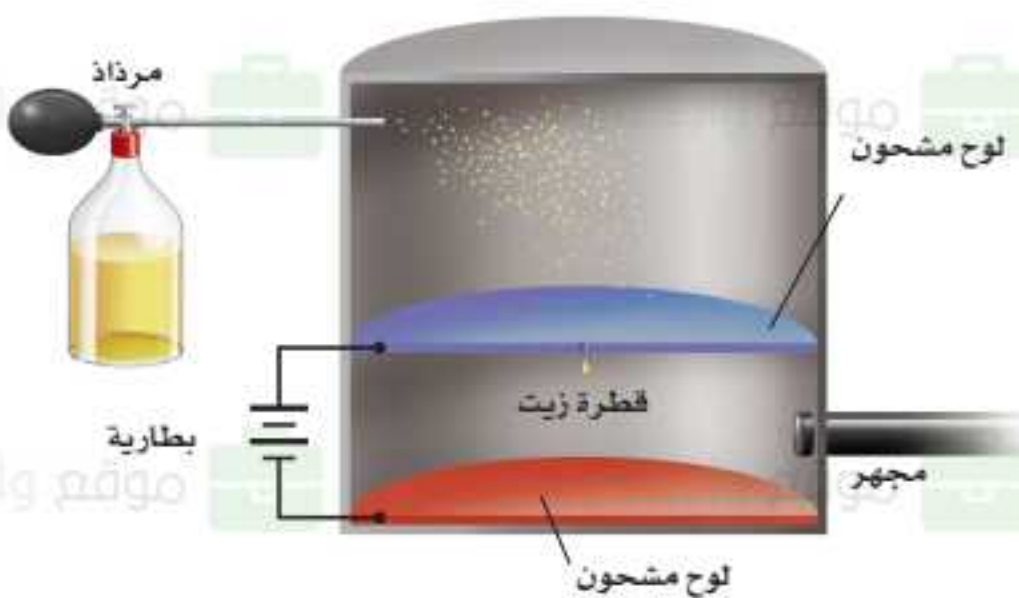
تجربة قطرة الزيت لمليكان

Millikan's Oil-Drop Experiment

يُعدّ قياس شحنة الإلكترون من أهم التطبيقات على المجال الكهربائي المنتظم بين لوحين متوازيين. وأول من قاس شحنة الإلكترون بهذه الطريقة الفيزيائي الأمريكي روبرت مليكان عام 1909م. وبين الشكل 9-10 الطريقة التي استخدمها مليكان لقياس الشحنة التي يحملها إلكترون مفرد. في البداية يُرش في الهواء قطرات زيت دقيقة بمرذاذ، فتُشحن هذه القطرات بسبب احتكاكها بالمرذاذ عند رشها، وتؤثر الجاذبية الأرضية في هذه القطرات مسببة سقوطها إلى أسفل، فيدخل بعض هذه القطرات في الفتحة الموجودة في اللوح العلوي داخل الجهاز. ومن ثم يُطبق فرق جهد كهربائي بين اللوحين، ليؤثر المجال الكهربائي الناشئ بين اللوحين بقوة في القطرات المشحونة. وعندما يُصبح اللوح العلوي موجباً بدرجة كافية تُسبب القوة الكهربائية ارتفاع القطرات المشحونة بشحنة سالبة إلى أعلى. ويتم ضبط فرق الجهد الكهربائي بين اللوحين؛ لتعليق قطرة زيت مشحونة في الهواء بين اللوحين. وعند هذه اللحظة تكون قوة مجال الجاذبية الأرضية المؤثرة في هذه القطرة إلى أسفل مساوية في المقدار للقوة الناتجة عن المجال الكهربائي، المؤثرة في القطرة إلى أعلى.

لقد تم تحديد مقدار المجال الكهربائي E من خلال فرق الجهد بين اللوحين. ويتعين إجراء قياس آخر لإيجاد وزن القطرة باستخدام العلاقة mg ، والذي يكون صغيراً جداً بحيث لا يمكن قياسه بالطرائق العادية. ولإجراء هذا القياس تم تعليق القطرة أولاً، ثم إيقاف المجال الكهربائي بين اللوحين، وقيس معدل سقوط القطرة؛ حيث تصل القطرة إلى السرعة الحدية خلال زمن قصير بسبب الاحتكاك مع جزيئات الهواء. وتعتمد هذه السرعة على كتلة القطرة من خلال معادلة معقدة. ويمكن حساب مقدار الشحنة q باستخدام السرعة الحدية المقاسة لحساب المقدار mg ، وبمعرفة مقدار المجال الكهربائي E .

شحنة الإلكترون وجد مليكان قدراً كبيراً من الاختلاف في شحنات القطرات، فعندما استخدم الأشعة السينية (X rays) من أجل تأيين الهواء وإضافة إلكترونات إلى القطرات أو إزالتها عنها، لاحظ أن التغير في مقدار الشحنة على القطرات يكون دائماً مضروباً في المقدار $1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$. وكان سبب التغيرات إضافة إلكترون واحد أو أكثر إلى القطرات، أو إزالته منها. ومن هنا استنتج أن أقل تغير حدث في مقدار الشحنة كان يساوي مقدار شحنة إلكترون واحد، لذا افترض أن كل إلكترون له دائماً الشحنة نفسها وهي $1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$. وقد بينت تجربة مليكان أن الشحنة مكّمة؛ وهذا يعني أن شحنة أي جسم هي فقط مضاعفات صحيحة لشحنة الإلكترون.



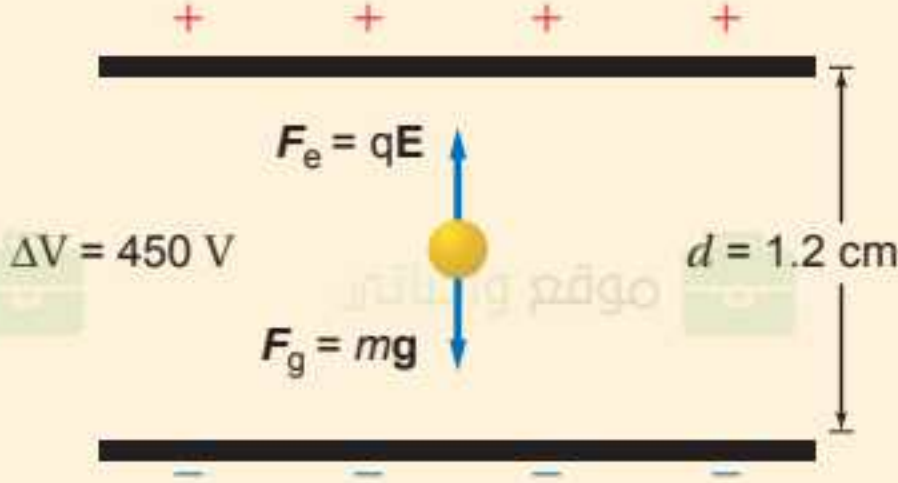
الشكل 9-10 يوضح هذا الشكل مقطوعاً عرضياً للجهاز الذي استخدمه مليكان في حساب شحنة الإلكترون.

◀ مثال 4

إيجاد شحنة قطرة زيت في تجربة قطرة الزيت لمليكان، وُجد أن وزن قطرة زيت $2.4 \times 10^{-14} \text{ N}$ ، والمسافة بين اللوحين 1.2 cm ، وعندما أصبح فرق الجهد بين اللوحين 450 V تعلقت قطرة الزيت في الهواء بلا حركة.

a. ما مقدار شحنة قطرة الزيت؟

b. إذا كانت شحنة اللوح العلوي موجبة فما عدد فائض الإلكترونات على قطرة الزيت؟



المجهول

شحنة قطرة الزيت $q = ?$

عدد الإلكترونات $n = ?$

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم اللوحين وقطرة الزيت معلقة بينهما.
- ارسم المتجهات التي تمثل القوى، وسمّها.
- بيّن فرق الجهد والمسافة بين اللوحين.

المعلوم

$$\Delta V = 450 \text{ V}$$

$$F_g = 2.4 \times 10^{-14} \text{ N}$$

$$d = 1.2 \text{ cm}$$

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. لتعليق قطرة الزيت في الهواء يجب أن تُوازن القوة الكهربائية قوة الجاذبية الأرضية.

$$F_e = F_g$$

$$qE = F_g$$

$$\frac{q\Delta V}{d} = F_g$$

$$q = \frac{F_g d}{\Delta V}$$

$$= \frac{(2.4 \times 10^{-14} \text{ N})(0.012 \text{ m})}{450 \text{ V}}$$

$$= 6.4 \times 10^{-19} \text{ C}$$

دليل الرياضيات

فصل المتغير

$$F_e = qE \text{ بالتعويض عن}$$

$$E = \frac{\Delta V}{d} \text{ بالتعويض عن}$$

حل لإيجاد q :

بالتعويض عن

$$\Delta V = 450 \text{ V}, d = 0.012 \text{ m}, F_g = 2.4 \times 10^{-14} \text{ N}$$

b. لإيجاد عدد الإلكترونات على القطرة:

$$n = \frac{q}{e}$$

$$= \frac{(6.4 \times 10^{-19} \text{ C})}{(1.6 \times 10^{-19} \text{ C})}$$

$$= 4$$

$$e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}, q = 6.4 \times 10^{-19} \text{ C} \text{ بالتعويض عن}$$

3 تقويم الجواب

- هل الوحدات صحيحة؟ وحدة الشحنة $\text{N.m/V} = \text{J/(J/C)} = \text{C}$.
- هل الجواب منطقي؟ النتيجة عدد صحيح وصغير من مضاعفات الشحنة الأساسية.

23. تسقط قطرة زيت في جهاز ملىكان مع عدم وجود مجال كهربائي. ما القوى المؤثرة فيها؟ وإذا سقطت القطرة بسرعة متجهة ثابتة فصف القوى المؤثرة فيها.

قوة الجاذبية الأرضية (الوزن) في اتجاه الأسفل، وقوة الاحتكاك مع الهواء في اتجاه الأعلى. وإذا سقطت القطرة بسرعة متجهة ثابتة تكون القوتان متساويتان في المقدار.

24. إذا علقت قطرة زيت وزنها $1.9 \times 10^{-15} \text{ N}$ في مجال كهربائي شدته $6.0 \times 10^3 \text{ N/C}$ فما مقدار شحنة القطرة؟ وما عدد فائض الإلكترونات التي تحملها القطرة؟

$$F_g = Eq$$

$$q = \frac{F_g}{E} = \frac{1.9 \times 10^{-15} \text{ N}}{6.0 \times 10^3 \text{ N/C}} = 3.2 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$\text{عدد الإلكترونات} = \frac{q}{q_e} = \frac{3.2 \times 10^{-19} \text{ C}}{1.60 \times 10^{-19} \text{ C}} = 2e$$

25. قطرة زيت وزنها $6.4 \times 10^{-15} \text{ N}$ تحمل إلكترونًا فائضًا واحدًا. ما شدة المجال الكهربائي اللازم لتعليق القطرة ومنعها من الحركة؟

$$E = \frac{F}{q} = \frac{6.4 \times 10^{-15} \text{ N}}{1.60 \times 10^{-19} \text{ C}} = 4.0 \times 10^4 \text{ N/C}$$

26. علقت قطرة زيت مشحونة بشحنة موجبة وزنها $1.2 \times 10^{-14} \text{ N}$ بين لوحين متوازيين البعد بينهما 0.64 cm . إذا كان فرق الجهد بين اللوحين 240 V فما مقدار شحنة القطرة؟ وما عدد الإلكترونات التي فقدتها لتكتسب هذه الشحنة؟

$$E = \frac{\Delta V}{r} = \frac{240 \text{ V}}{6.4 \times 10^{-3} \text{ m}} = 3.8 \times 10^4 \text{ N/C}$$

$$E = \frac{F}{q}$$

$$q = \frac{F}{E} = \frac{1.2 \times 10^{-14} \text{ N}}{3.8 \times 10^4 \text{ N/C}} = 3.2 \times 10^{-19} \text{ C}$$

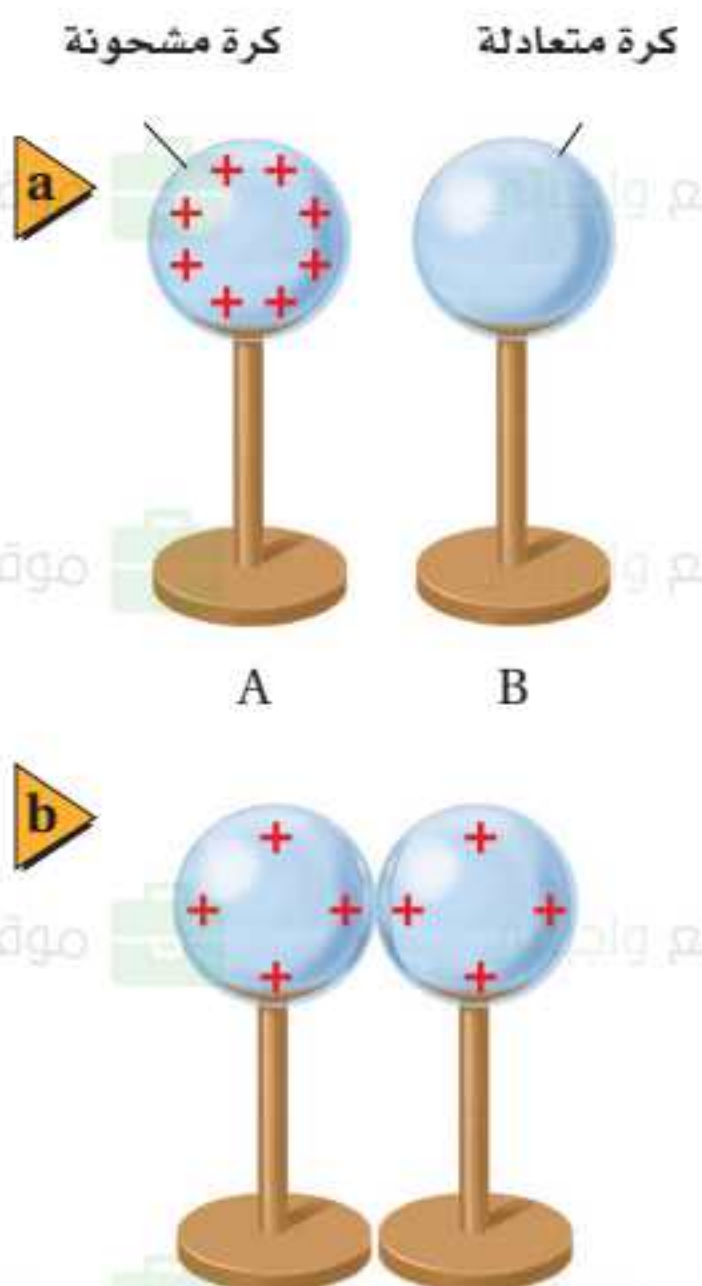
$$\text{عدد الإلكترونات} = \frac{q}{q_e} = \frac{3.2 \times 10^{-19} \text{ C}}{1.60 \times 10^{-19} \text{ C}} = 2e$$

توزيع الشحنات Sharing of Charges

يؤول أي نظام إلى الاتزان عندما تصبح طاقته أقل ما يمكن. فإذا وضعت كرة على قمة تل مثلاً فإنها تصل في النهاية إلى قاع الوادي وتستقر هناك؛ حيث تكون طاقة وضع الجاذبية لها عندئذٍ أقل ما يمكن. ويفسر المبدأ نفسه ما يحدث عند تلامس كرة فلزية معزولة ومشحونة بشحنة موجبة مع كرة فلزية أخرى غير مشحونة، كما هو موضح في الشكل 9-11.

إن الشحنات الفائضة على الكرة A يتنافر بعضها مع بعض، لذا فعندما تلامس الكرة المتعادلة B سطح الكرة A يكون هناك قوة كهربائية محصلة تؤثر في الشحنات الموجودة على الكرة A في اتجاه الكرة B. افترض أنك حرّكت الشحنات ونقلتها منفردة من A إلى B. عندما تنقل الشحنة الأولى ستدفعها الشحنات المتبقية على A في اتجاه B، وللتحكم في سرعتها يجب أن تؤثر فيها بقوة في الاتجاه المعاكس. فتكون بذلك قد بذلت شغلاً سالباً عليها، ويكون فرق الجهد الكهربائي من A إلى B سالباً. وعند نقل الشحنات الأخرى ستواجه قوة تنافر من الشحنات التي أصبحت الآن على B، إلا أنه ما زال هناك قوة محصلة موجبة في ذلك الاتجاه. وعند مرحلة معينة تكون القوة التي تدفع الشحنة من A إلى B مساوية لقوة التنافر الناتجة عن الشحنات الموجودة على B، عندها يصبح فرق الجهد الكهربائي بين A و B صفراً. وبعد حالة الاتزان هذه يجب بذل شغل على الشحنة الآتية لنقلها من A إلى B، وهذا لا يحدث تلقائياً، بل يتطلب زيادة في طاقة النظام. وإذا استمر نقل الشحنات سيصبح فرق الجهد الكهربائي من A إلى B موجباً. لذا يمكنك مشاهدة أن الشحنات تتحرك من A إلى B دون التأثير فيها بقوى خارجية إلى أن يصبح فرق الجهد الكهربائي بين الكرتين صفراً.

■ الشكل 9-11 عندما تلمس كرة فلزية مشحونة كرة فلزية أخرى متعادلة مساوية لها في الحجم تتوزع الشحنات على الكرتين بالتساوي.



كرات فلزية مختلفة في الحجم



■ الشكل 9-12 تنتقل الشحنات من الكرة ذات الجهد الأعلى إلى الكرة ذات الجهد الأخفض عند تلاسهما، ويستمر انتقال الشحنات إلى أن ينعدم فرق الجهد بينهما.

كرات بأحجام مختلفة افترض أن الكرتين الموصلتين مختلفتان في الحجم، كما هو موضح في الشكل 9-12. فعلى الرغم من أن عدد الشحنات على الكرتين هو نفسه إلا أن للكرة الكبيرة مساحة سطحية أكبر، لذا تتباعد الشحنات الموجودة عليها بعضها عن بعض مسافات أكبر، ومن ثم تقل قوة التنافر بينها. وإذا لامسنا الكرتين معاً فستكون هناك قوة محصلة تنقل الشحنات من الكرة الصغيرة إلى الكرة الكبيرة، وستنتقل الشحنات إلى الكرة ذات الجهد الكهربائي الأقل، وسيستمر ذلك إلى أن ينعدم فرق الجهد الكهربائي بين الكرتين. وفي هذه الحالة سيكون للكرة الكبرى شحنة أكبر عند الوصول إلى حالة الاتزان.

يوضح المبدأ نفسه كيف تتحرك الشحنات على الكرات المنفردة أو على أي موصل آخر؛ حيث تتوزع الشحنات بحيث تكون القوة المحصلة المؤثرة في كل منها صفراً. وبما أن القوة المحصلة المؤثرة في كل شحنة على سطح الموصل تساوي صفراً فإنه لا يوجد مجال كهربائي أو مركبة له موازية لسطح هذا الموصل، لذا لا يوجد فرق في الجهد الكهربائي بين أي نقطتين على سطحه، ولذلك يكون سطح الموصل المشحون متساوي الجهد ويسمى سطح تساوي جهد.

إذا تم تأريض جسم مشحون بوصله بالأرض فستنتقل غالباً أي كمية شحنة عليه إلى الأرض إلى أن يصبح فرق الجهد الكهربائي بين الجسم والأرض صفراً. فيمكن مثلاً أن تُشحن صهاريج نقل البنزين عن طريق الاحتكاك، وإذا انتقلت الشحنات الزائدة الموجودة على صهريج بنزين إلى الأرض من خلال بخار البنزين فسُتحدث انفجاراً. ولتفادي حدوث ذلك يوصل سلك فلزي بالصهريج حتى يوصل الشحنات ويُفرغها في الأرض بطريقة آمنة، كما يوضح الشكل 9-13. وبالمثل إذا لم يتم تأريض جهاز حاسوب بوصله بالأرض فسيتولد فرق جهد كهربائي بين جهاز الحاسوب والأرض، وإذا لامس شخص جهاز الحاسوب فستندفق الشحنات من الحاسوب إلى الشخص، مما قد يؤدي إلى تلف الجهاز، أو إيذاء الشخص.



■ الشكل 9-13 سلك التأريض المتصل بصهريج نفط يمنع اشتعال بخار البنزين.

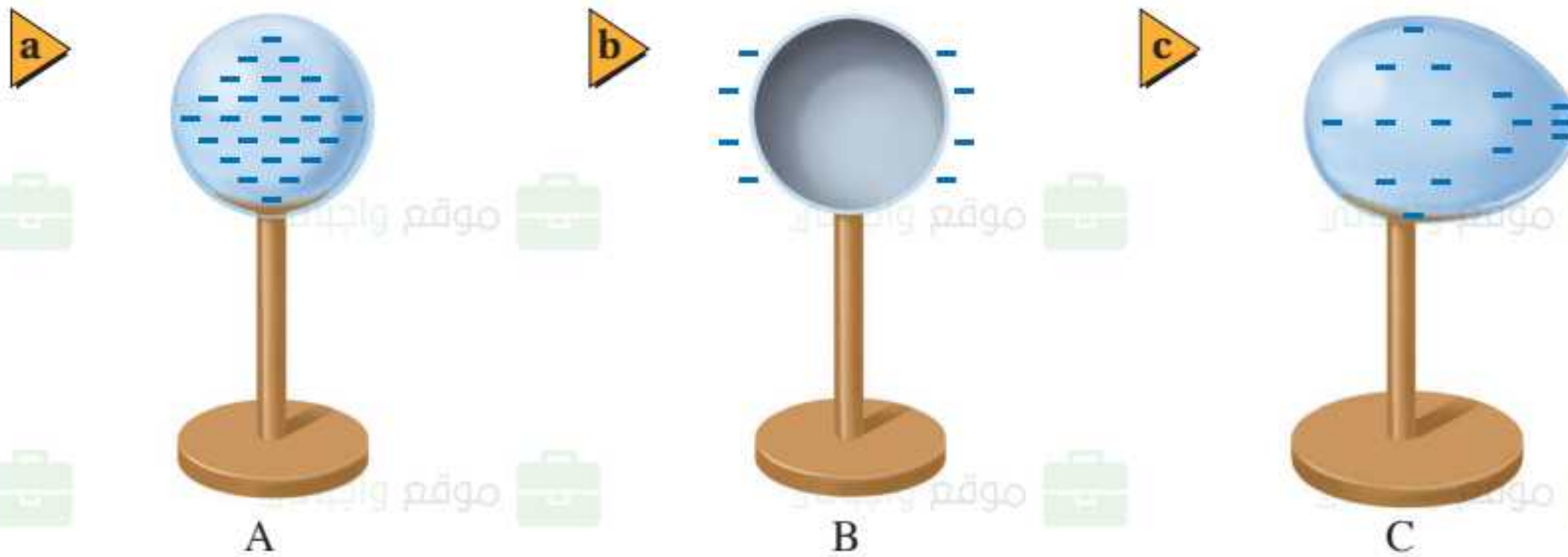
المجالات الكهربائية بالقرب من الموصلات

Electric Fields Near Conductors

تتوزع الشحنات الكهربائية على موصل مشحون مبعثداً بعضها عن بعض أقصى ما يمكن، بحيث تكون طاقة النظام أقل ما يمكن، مما يؤدي إلى توزيع الشحنات الفائضة على سطح الموصل المصمت، وكذا الحال مع الموصل الأجوف. إذا شحن وعاء فلزي أجوف فستتوزع الشحنات على سطحه الخارجي، ولن يكون هناك أي شحنات على سطحه الداخلي، وبهذه الطريقة يعمل الوعاء الفلزي المغلق عمل درع واقية تحمي ما بداخلها من المجالات الكهربائية. فمثلاً يكون الناس داخل السيارة محميين من المجالات الكهربائية الناتجة عن البرق، وبالمثل بالنسبة لعلبة مشروبات غازية مفتوحة سيكون عدد الشحنات داخل العلبة صغيراً جداً، ولا توجد شحنات بالقرب من قاعدة العلبة، حتى وإن كان السطح الداخلي لجسم ما مُنقراً أو خشناً، مما يجعل مساحة سطحه الداخلي أكبر من مساحة سطحه الخارجي، إلا أن الشحنات ستتوزع كلها على سطحه الخارجي.

لا يكون المجال الكهربائي خارج موصل مشحون صفراً غالباً. وعلى الرغم من أن سطح الموصل يعدّ سطح تساوي جهد إلا أن المجال الكهربائي خارجه يعتمد على شكل الموصل، كما يعتمد على فرق الجهد الكهربائي بين الموصل والأرض. وتكون الشحنات أكثر تقارباً عند الرؤوس المدببة من سطح الموصل، وتكون كثافتها كبيرة، كما هو موضح في الشكل 9-14؛ لذا تكون خطوط المجال الكهربائي عند هذه الرؤوس أكثر تقارباً، ويكون المجال الكهربائي أكبر. وإذا أصبحت شدة هذا المجال كبيرة بدرجة كافية فإنه يكون قادراً على مسارعة الإلكترونات والأيونات الناتجة عن مرور الأشعة الكونية خلال الذرات، فتصطدم هذه الإلكترونات والأيونات بذرات أخرى، مما يؤدي إلى تأين المزيد من الذرات. وتظهر هذه السلسلة من التفاعلات في صورة وهج وردي اللون، كالذي يُشاهد داخل كرة التفريغ الكهربائي التي تحوي غازات. وإذا كان المجال الكهربائي كبيراً بصورة كافية فستنتج حزمة أو تيار من الأيونات والإلكترونات التي تشكل البلازما - وهي مادة موصلة - عندما تصطدم الجسيمات بجزيئات أخرى، وتصدر شرارة كهربائية، أما في الحالات الشديدة فينتج البرق. وللتقليل من عمليات التفريغ الكهربائي وحدوث الشرارة الكهربائية تُجعل الموصلات ذات الشحنة الكبيرة أو التي تعمل تحت فروق جهد كبيرة ملساء وانسيابية الشكل لتقليل المجالات الكهربائية.

■ الشكل 9-14 تتوزع الشحنات على سطح الكرة الموصلة بانتظام (a). أما الكرة الجوفاء (b) فتستقر الشحنات دائماً على سطحها الخارجي. وأما في الأشكال غير المنتظمة (c) فتتقرب الشحنات بعضها من بعض عند الأطراف المدببة.



أما في مانعة الصواعق فيثبت قضيب بطريقة تجعل المجال الكهربائي كبيراً بالقرب من طرفه، ومع استمرار تسريع المجال الكهربائي للإلكترونات والأيونات، يبدأ تشكّل مسار موصل من طرف القضيب إلى الغيوم أو العكس. ونتيجة لشكل القضيب المدبب جداً تُفرّغ شحنات الغيمة في صورة شرارة في قضيب مانعة الصواعق بدلاً من تفريغها في أي نقطة مرتفعة من المنزل أو البناية. ثم تنتقل الشحنات من قضيب مانعة الصواعق عبر موصل لتفرّغ بصورة آمنة في الأرض.

يتطلب حدوث البرق عادة فرق جهد كبيراً بين غيمتين أو بين الأرض والغيوم في حالة الصاعقة يصل إلى ملايين الفولتات. وعلى الرغم من أن تشغيل أنبوب التفريغ الكهربائي الصغير الذي يحتوي على الغاز يتطلب آلاف الفولتات، إلا أن أسلاك التمديدات الكهربائية في المنازل لا تحمل عادة فرق جهد كافياً لإحداث مثل هذا التفريغ الكهربائي.

تخزين الشحنات: المكثف

Storing Charges: The Capacitor

عند رفع كتاب عن سطح الأرض تزداد طاقة وضع جاذبية الكتاب. ويمكن تفسير ذلك على أنه تخزين للطاقة في مجال الجاذبية الأرضي. وبطريقة مماثلة يمكن تخزين الطاقة في المجال الكهربائي؛ ففي عام 1746م اخترع الفيزيائي الهولندي بيتر فان مسجنبروك جهازاً صغيراً يمكنه تخزين كمية كبيرة من الشحنات الكهربائية. وتكريماً لمدينة ليدن التي عمل بها هذا العالم سُمي هذا الجهاز زجاجة (قارورة) ليدن. واستخدم العالم بنيامين فرانكلين زجاجة ليدن لتخزين الشحنات الكهربائية الناتجة عن البرق، كما استخدمها في عدة تجارب أخرى. وأصبح لهذا الجهاز الذي يعمل على تخزين الشحنات شكل جديد، بحيث أصبح أصغر حجماً، ويسمى **المكثف الكهربائي**.

عند إضافة شحنات كهربائية إلى جسم يزداد فرق الجهد الكهربائي بين ذلك الجسم والأرض. وإذا كان شكل الجسم وحجمه ثابتين تبقى النسبة بين الشحنة المخزنة على الجسم وفرق الجهد الكهربائي $q/\Delta V$ ثابتة، وتسمى تلك النسبة **السعة الكهربائية C**. وعند إضافة كمية من الشحنة ولو كانت قليلة إلى كرة صغيرة بعيدة عن الأرض يزداد فرق الجهد الكهربائي بينها وبين الأرض؛ لكون C صغيرة. أما الكرة الكبيرة فيمكنها أن تخزن كمية شحنات أكبر عند فرق الجهد نفسه، وبذلك تكون سعتها الكهربائية أكبر.



هل يمكن تخزين كميات كبيرة من الشحنات؟

تجربة عملية

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية



الشكل 15-9 تبين الصورة
المجاورة أنواعاً مختلفة من المكثفات.

صُممت المكثفات ليكون لها سعات كهربائية محدّدة. وتتكون المكثفات جميعها من موصلين يفصل بينهما مادة عازلة. وللموصلين شحنتان متساويتان في المقدار لكنهما مختلفتان في النوع. وتستخدم المكثفات في أيامنا هذه في الدوائر الكهربائية لتخزين الشحنات. ويوضح الشكل 15-9 مجموعة من المكثفات التجارية التي تحوي عادة شرائط من الألومنيوم مفصولة بطبقة رقيقة من البلاستيك، ثم تلف بصورة أسطوانية حتى يقل حجمها ولا تشغل حيزاً كبيراً.

كيف يمكن قياس السعة الكهربائية لمكثف؟ بما أن السعة الكهربائية للمكثف لا تعتمد على شحنته فيمكن قياسها بوضع شحنة $+q$ على أحد اللوحين وشحنة أخرى $-q$ على اللوح الآخر، ثم قياس فرق الجهد الكهربائي الناتج بين اللوحين ΔV ، ثم نحسب السعة الكهربائية من خلال العلاقة أدناه، وتكون وحدة قياس السعة الكهربائية هي الفاراد F.

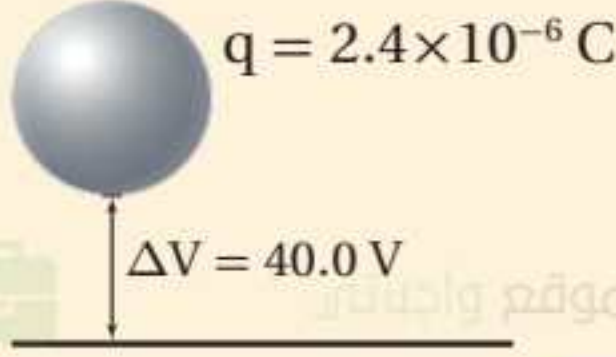
$$C = \frac{q}{\Delta V} \quad \text{السعة الكهربائية}$$

السعة الكهربائية هي النسبة بين الشحنة على أحد اللوحين وفرق الجهد بينهما.

وحدة قياس السعة الكهربائية : (الفاراد) تُقاس السعة الكهربائية بوحدة الفاراد، وقد سميت بهذا الاسم نسبة إلى العالم مايكل فارادي. والفاراد الواحد عبارة عن واحد كولوم لكل فولت (C/V). وكما أسلفنا أن 1 C وحدة كبيرة جداً لقياس الشحنة، فإن 1 F وحدة كبيرة جداً أيضاً لقياس السعة الكهربائية؛ فأغلب المكثفات المستخدمة في الإلكترونيات الحديثة لها سعات كهربائية تتراوح بين 10 بيكوفاراد (10×10^{-12} F) و 500 ميكروفاراد (500×10^{-6} F). أما المكثفات التي تستخدم في ذاكرة الحاسوب لمنع الفقد في الذاكرة فلها سعات كهربائية كبيرة تتراوح بين 0.5 F و 1.0 F. لاحظ أنه إذا زادت الشحنة زاد فرق الجهد الكهربائي أيضاً؛ لأن سعة المكثف لا تعتمد على الشحنة q ، وإنما تعتمد على الأبعاد الهندسية للمكثف فقط.

مثال 5

إيجاد السعة الكهربائية إذا كان فرق الجهد الكهربائي بين كرة موصلة والأرض يساوي 40.0 V عند شحنها بشحنة مقدارها $2.4 \times 10^{-6} \text{ C}$ فما مقدار سعتها الكهربائية؟



1 تحليل المسألة ورسمها

• ارسم كرة فوق الأرض، وعتن عليها الشحنة وفرق الجهد.

المجهول

$C = ?$

المعلوم

$\Delta V = 40.0 \text{ V}$

$q = 2.4 \times 10^{-6} \text{ C}$

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية

$$C = q / \Delta V$$

$$C = \frac{2.4 \times 10^{-6} \text{ C}}{40.0 \text{ V}}$$

$$= 6.0 \times 10^{-8} \text{ F}$$

$$= 0.060 \mu\text{F}$$

2 إيجاد الكمية المجهولة

بالتعويض عن $q = 2.4 \times 10^{-6} \text{ C}$ ، $\Delta V = 40.0 \text{ V}$

3 تقويم الجواب

- هل الوحدات صحيحة؟ $F = \frac{C}{V}$ الوحدة هي الفاراد.
- هل الجواب منطقي؟ السعة الكهربائية القليلة تخزن شحنة كهربائية قليلة عند فرق جهد قليل.

مسائل تدريبية

27. مكثف كهربائي سعته $27 \mu\text{F}$ وفرق الجهد الكهربائي بين لوحيه 45 V . ما مقدار شحنة المكثف؟
28. مكثفان؛ سعة الأول $3.3 \mu\text{F}$ ، وسعة الآخر $6.8 \mu\text{F}$. إذا وصل كل منهما بفرق جهد 24 V فأَي المكثفين له شحنة أكبر؟ وما مقدارها؟
29. إذا شحن كل من المكثفين في المسألة السابقة بشحنة مقدارها $3.5 \times 10^{-4} \text{ C}$ فأَيهما له فرق جهد كهربائي أكبر بين طرفيه؟ وما مقداره؟
30. شحن مكثف كهربائي سعته $2.2 \mu\text{F}$ حتى أصبح فرق الجهد الكهربائي بين لوحيه 6.0 V . ما مقدار الشحنة الإضافية التي يتطلبها رفع فرق الجهد بين طرفيه إلى 15.0 V ؟
31. عند إضافة شحنة مقدارها $2.5 \times 10^{-5} \text{ C}$ إلى مكثف يزداد فرق الجهد بين لوحيه من 12.0 V إلى 14.5 V . احسب مقدار سعة المكثف.

الإجابة في الصفحة التالية



27. مكثف كهربائي سعته $27 \mu\text{F}$ وفرق الجهد الكهربائي بين لوحيه 45 V . ما مقدار شحنة المكثف؟

$$q = C\Delta V = (27 \times 10^{-6} \text{ F})(45 \text{ V})$$

$$= 1.2 \times 10^{-3} \text{ C}$$

28. مكثفان؛ سعة الأول $3.3 \mu\text{F}$ ، وسعة الآخر $6.8 \mu\text{F}$. إذا وصل كل منهما بفرق جهد 24 V فأَي المكثفين له شحنة أكبر؟ وما مقدارها؟

$$q = C\Delta V$$

المكثف الذي سعته أكبر تكون شحنته أكبر.

$$q = (6.8 \times 10^{-6} \text{ F})(24 \text{ V}) = 1.6 \times 10^{-4} \text{ C}$$

29. إذا شحن كل من المكثفين في المسألة السابقة بشحنة مقدارها $3.5 \times 10^{-4} \text{ C}$ فأَيها له فرق جهد كهربائي أكبر بين طرفيه؟ وما مقدارها؟

$$\Delta V = \frac{q}{C}$$

المكثف الذي سعته أصغر، يكون له جهد أكبر.

$$\Delta V = \frac{3.5 \times 10^{-4} \text{ C}}{3.3 \times 10^{-6} \text{ F}} = 1.1 \times 10^2 \text{ V}$$

30. شحن مكثف كهربائي سعته $2.2 \mu\text{F}$ حتى أصبح فرق الجهد الكهربائي بين لوحيه 6.0 V . ما مقدار الشحنة الإضافية التي يتطلبها رفع فرق الجهد بين طرفيه إلى 15.0 V ؟

$$q = C\Delta V$$

$$\Delta q = C(\Delta V_2 - \Delta V_1)$$

$$= (2.2 \times 10^{-6} \text{ F})(15.0 \text{ V} - 6.0 \text{ V})$$

$$= 2.0 \times 10^{-5} \text{ C}$$

31. عند إضافة شحنة مقدارها $2.5 \times 10^{-5} \text{ C}$ إلى مكثف يزداد فرق الجهد بين لوحيه من 12.0 V إلى 14.5 V . احسب مقدار سعة المكثف.

$$C = \frac{q}{\Delta V_2 - \Delta V_1} = \frac{2.5 \times 10^{-5} \text{ C}}{14.5 \text{ V} - 12.0 \text{ V}}$$

$$= 1.0 \times 10^{-5} \text{ F}$$



يجذب لوحا مكثف كهربائي أحدهما الآخر لأنها يحملان شحنتين مختلفتين، فإذا كانت المسافة بين لوحين مكثف متوازيين d ، وسعته الكهربائية C فأجب عما يأتي:
1. اشتق علاقة للقوة الكهربائية بين اللوحين عندما يكون للمكثف شحنة مقدارها q .

باستخدام المعادلات التالية:

$$\Delta V = q / C, F = Eq, E = \Delta V / d$$

نحصل على المعادلة:

$$\begin{aligned} F &= Eq = (\Delta V / d)q \\ &= ((q / C) / d)q \\ &= q^2 / Cd \end{aligned}$$

2. ما مقدار الشحنة التي يجب أن تخزن في مكثف سعته $22 \mu F$ ، والمسافة بين لوحيه 1.5 mm لتكون القوة بين لوحيه 2.0 N ؟

$$\begin{aligned} F &= \frac{q^2}{Cd} \\ q &= \sqrt{FCd} \end{aligned}$$

لذا فإن

$$\begin{aligned} &= \sqrt{(2.0 \text{ N})(2.2 \times 10^{-5} \text{ F})(1.5 \times 10^{-3} \text{ m})} \\ &= 2.6 \times 10^{-4} \text{ C} \end{aligned}$$

أنواع المكثفات المختلفة تصنع المكثفات بأشكال وأحجام مختلفة، كما يوضح الشكل 15-9؛ فبعض المكثفات كبيرة وضخمة جداً حتى إنها تملأ غرفة كاملة، ويمكنها تخزين شحنات تكفي لإحداث برق اصطناعي، أو تشغيل ليزرات عملاقة قادرة على إطلاق آلاف الجولات من الطاقة خلال بضعة أجزاء من المليون من الثانية. أما المكثفات الموجودة في التلفاز فيمكنها تخزين كمية كافية من الشحنات عند فروق جهد مساوية لعدة مئات من الفولتات، لذا تكون خطيرة جداً إذا لمُست. وتبقى هذه المكثفات مشحونة عدة ساعات بعد إغلاق التلفاز. وهذا هو سبب التحذير من نزع غطاء جهاز التلفاز القديم أو غطاء شاشة جهاز الحاسوب القديم حتى لو لم تكن متصلة بمصدر جهد كهربائي.

يمكن التحكم في السعة الكهربائية لمكثف بتغيير المساحة السطحية للموصلين، أو اللوحين الفلزيين داخل المكثف، أو تغيير المسافة بين اللوحين، أو تغيير طبيعة المادة العازلة بينهما. وتسمى المكثفات بحسب نوع العازل الذي يفصل بين اللوحين، مثل السيراميك والمايكا والبوليستر والورق والهواء. ويمكن الحصول على سعة كهربائية كبيرة لمكثف بزيادة المساحة السطحية للوحين الفلزيين وتقليل المسافة بينهما. ولبعض المواد العازلة القدرة على عزل الشحنات الموجودة على لوحي المكثف بفاعلية وكفاءة، بحيث تسمح بتخزين كمية أكبر من الشحنة.

32. فرق الجهد الكهربائي ما الفرق بين طاقة الوضع الكهربائية وفرق الجهد الكهربائي؟

تتغير طاقة الوضع الكهربائية عندما يُبذل شغل لنقل شحنة في مجال كهربائي، كما أنها تعتمد على كمية الشحنة المنقولة. أما فرق الجهد الكهربائي فهو الشغل المبذول لنقل وحدة الشحنات في مجال كهربائي، وهو لا يعتمد على كمية الشحنة المنقولة.

33. المجال الكهربائي وفرق الجهد يبين أن الفولت لكل متر هو نفسه نيوتن لكل كولوم.

$$V/m = J/C \cdot m = N \cdot m / C \cdot m = N/C$$

34. تجربة مليكان عندما تتغير شحنة قطرة الزيت المعلقة داخل جهاز مليكان تبدأ القطرة في السقوط. كيف يجب تغيير فرق الجهد بين اللوحين لجعل القطرة تعود إلى الاتزان من جديد؟

يجب زيادة فرق الجهد.

35. الشحنة وفرق الجهد إذا كان التغير في فرق الجهد الكهربائي في المسألة السابقة لا يؤثر في القطرة الساقطة فعلاً يدل ذلك بشأن الشحنة الجديدة على القطرة؟

يدل على أن القطرة متعادلة كهربائياً.

36. السعة الكهربائية ما مقدار الشحنة المخزنة في مكثف سعته $0.47 \mu F$ عندما يُطبق عليه فرق جهد مقداره $12 V$ ؟

$$q = C \Delta V = (4.7 \times 10^{-7} F)(12 V) = 5.6 \times 10^{-6} C$$

37. توزيع الشحنات عند ملامسة كرة موصلة صغيرة مشحونة بشحنة سالبة لكرة موصلة كبيرة مشحونة بشحنة موجبة، ماذا يمكن القول عن: a. جهد كل من الكرتين.

سيكون جهدا الكرتين متساوياً.

b. شحنة كل من الكرتين.

ستكون شحنة الكرة الكبيرة أكبر من شحنة الكرة الصغيرة، ولكن سيكون لهما النوع نفسه.

38. التفكير الناقد بالرجوع إلى الشكل 4a-9، وضح كيف تستمر الشحنات في التراكم على القبة الفلزية لمولد فان دي جراف، ولماذا لا تتناثر الشحنات لتعود إلى الحزام عند النقطة B؟

لا تولد الشحنات الموجودة على القبة الفلزية مجالاً كهربائياً داخلها،

بل تنتقل الشحنات فوراً من الحزام إلى السطح الخارجي للقبة، حيث لا يكون لها تأثير في الشحنات الجديدة التي تصل إلى النقطة B.

مختبر الفيزياء

شحن المكثفات

المكثف الكهربائي جهاز مكوّن من موصلين، أو لوحين فلزيين يفصل بينهما مادة عازلة، ويُصمّم ليكون له سعة كهربائية محدّدة. وتعتمد السعة الكهربائية للمكثف على خصائصه الفيزيائية (نفاذية الوسط الكهربائي)، والأبعاد الهندسية للموصلين والعازل. وفي الرسم التخطيطي للدائرة الكهربائية يبدو المكثف أنه ينشئ دائرة مفتوحة، حتى عندما يكون المفتاح الكهربائي مغلقاً. إلا أنه عند إغلاق المفتاح الكهربائي تنتقل الشحنات الكهربائية من البطارية (مصدر جهد مستمر) إلى المكثف؛ فيُشحن لوحا المكثف بشحنتين متساويتين في المقدار ومختلفتين في النوع، ويتولّد فرق جهد كهربائي بينهما. وكلما زادت كمية الشحنة المتراكمة على المكثف ازداد فرق الجهد الكهربائي بين لوحيه. وفي هذه التجربة ستختبر شحن عدة مكثفات مختلفة.

سؤال التجربة

ما الزمن اللازم لشحن مكثفات مختلفة السعة الكهربائية؟

الأهداف

- تجمع البيانات وتنظّمها حول المعدل الزمني اللازم لشحن مكثفات مختلفة.
- تقارن بين المعدلات الزمنية اللازمة لشحن مكثفات مختلفة.
- تنشئ رسوماً بيانية وتستخدمها لفرق الجهد مقابل زمن شحن عدة مكثفات.

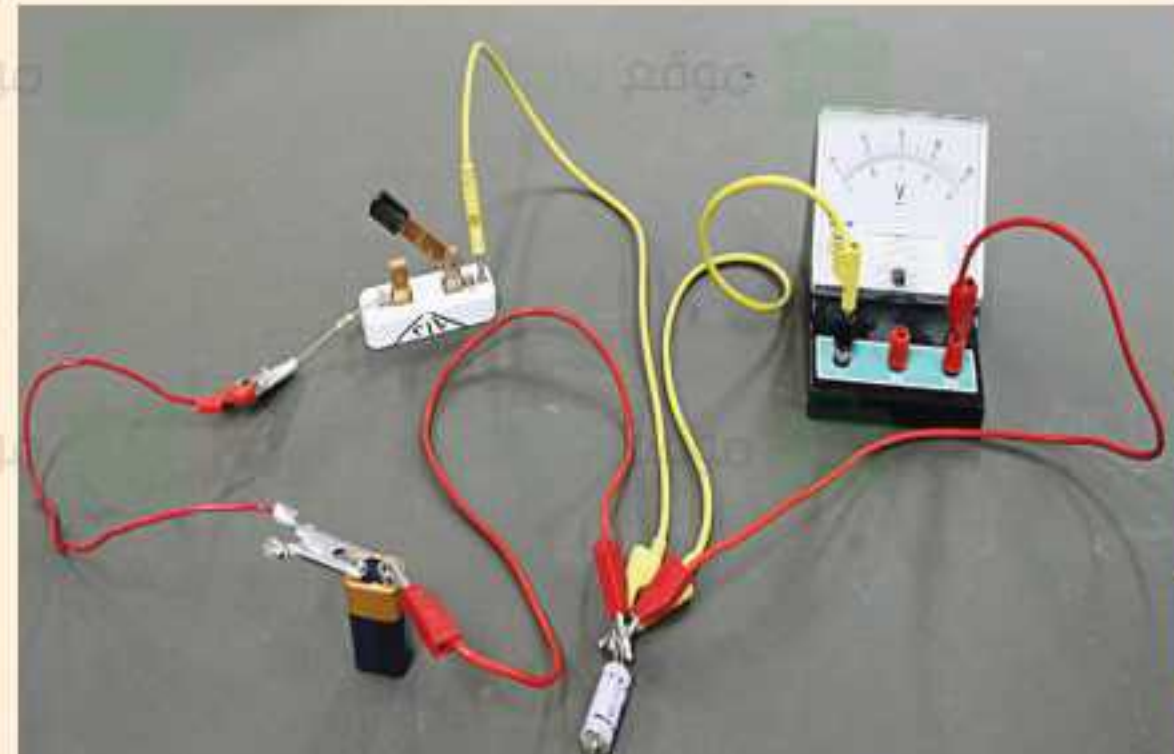
احتياطات السلامة

المواد والأدوات

بطارية 9V، وفولتметр، ومسابك أو مرابط خاصة ببطارية 9V، ومقاومة كهربائية $47\text{ k}\Omega$ ، وأسلاك توصيل، وساعة إيقاف، ومفتاح كهربائي، ومكثفات $1000\text{ }\mu\text{F}$ و $500\text{ }\mu\text{F}$ و $240\text{ }\mu\text{F}$

الخطوات

1. قبل بدء تنفيذ التجربة دع المفتاح الكهربائي مفتوحاً، ولا تصل البطارية. تحذير: كن حذراً وتجنّب تكوّن دائرة قصر كهربائية، وخصوصاً عند تلامس السلكين الموصلين بقطبي



البطارية معاً. ركب الدائرة كما هو موضح في الصورة، وذلك بتوصيل أحد طرفي المقاومة بطرف المفتاح الكهربائي، حيث تستخدم المقاومة لتقليل شحن المكثف إلى معدل يكون فيه قابلاً للقياس، ثم صل الطرف الآخر للمقاومة مع القطب السالب للبطارية 9V. ثم تفحص المكثف $1000\text{ }\mu\text{F}$ ؛ لتحديد أيّ طرفيه قد علّم بإشارة سالبة، أو سَهم مع إشارة سالبة عليه، حيث يُشير ذلك إلى الطرف الذي سيوصل مع القطب السالب للبطارية، ثم صل هذا القطب بالطرف الآخر للمفتاح الكهربائي. وصل الطرف الموجب للمكثف مع الطرف الموجب للبطارية.

2. صل الطرف الموجب للفولتметр مع الطرف الموجب للمكثف، والطرف السالب للفولتметр مع الطرف السالب للمكثف، ثم قارن بين الدائرة التي ركبتهما والدائرة الموضحة في الصورة لتتأكد من صحة توصيلاتك. ولا تصل البطارية إلا بعد أن يتحقق المعلم من صحة التوصيلات.

3. جهّز جدول بيانات على أن تخصص أعمدة للزمن وأخرى لفرق الجهد لكل من المكثفات الثلاثة المختلفة.

4. يراقب أحد الطلاب الزمن الذي تقيسه ساعة الإيقاف، بينما يُسجّل طالب آخر فرق الجهد عند الوقت المناسب. أغلق المفتاح الكهربائي، ثم قس فرق الجهد خلال فترات زمنية مقدارها 5 s. افتح المفتاح الكهربائي بعد جمع البيانات.

5. عند الانتهاء من المحاولة، خذ سلكاً معزولاً وصله بطرفي المكثف. سيعمل هذا على تفريغ المكثف.

الزمن (s)	فرق الجهد عبر (V) 1000 μ F	فرق الجهد عبر (V) 100 μ F	فرق الجهد عبر (V) 10 μ F	الزمن (s)	فرق الجهد عبر (V) 1000 μ F	فرق الجهد عبر (V) 100 μ F	فرق الجهد عبر (V) 10 μ F
130	7.9	9	9	60	5.9	8.8	9
140	8.1	9	9	70	6.4	8.8	9
150	8.2	9	9	80	6.7	8.8	9
160	8.3	9	9	90	7.0	8.9	9
170	8.4	9	9	100	7.3	8.9	9
180	8.4	9	9	110	7.6	9	9
190	8.5	9	9	120	7.8	9	9
0	0	0	0				
10	1.7	7.5	1.3				
20	2.9	8.6	8.9				
30	3.8	8.7	9				
40	4.7	8.8	9				
50	5.3	8.8	9				

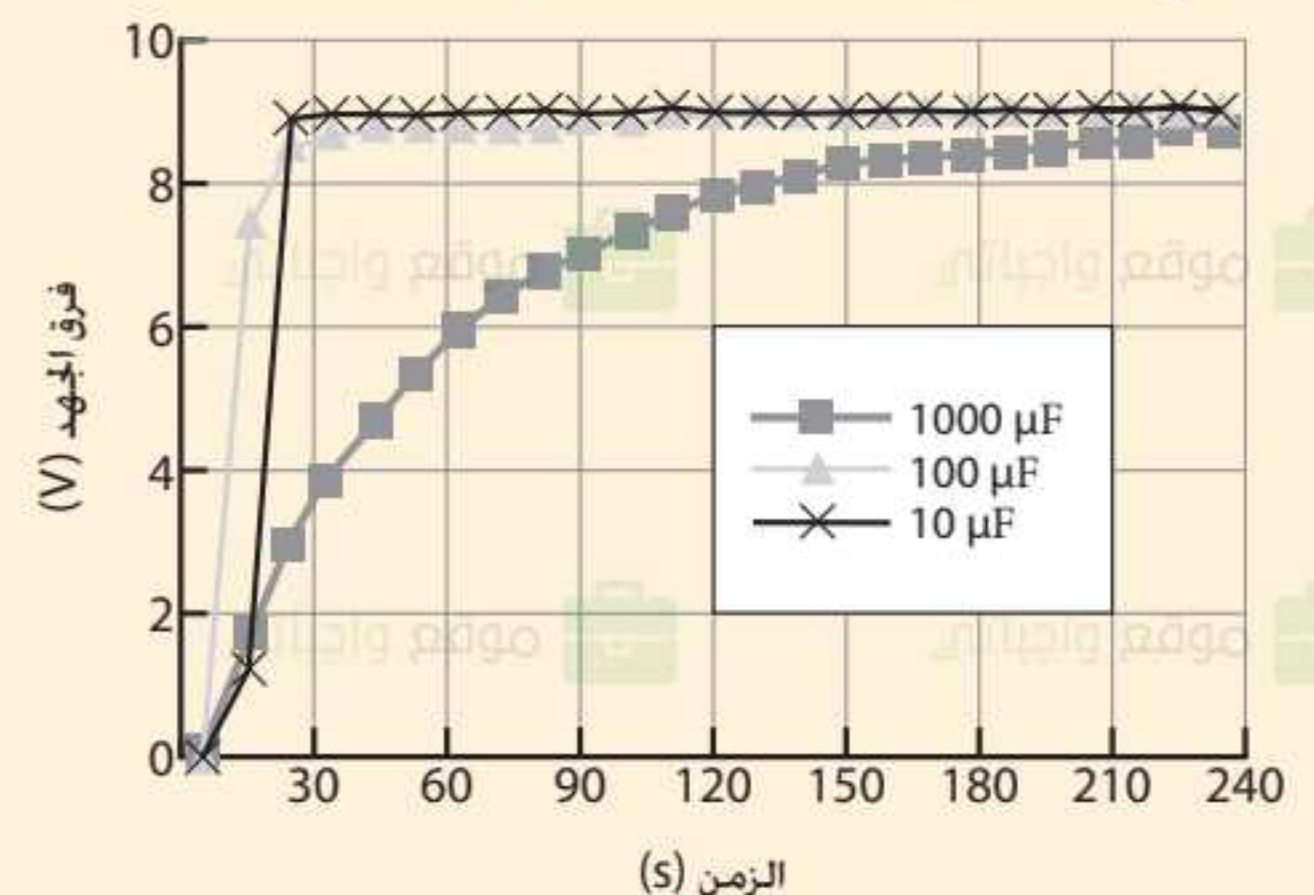
التحليل

1. **لاحظ واستنتج** هل شحن كل مكثف بحيث أصبح فرق الجهد بين طرفيه 9 V؟ اقترح تفسيراً للسلوك الملاحظ.

ستختلف الإجابات. قد لا يشحن كثير من المكثفات إلى 9 V، فقد تصل إلى حالة الاتزان عند جهد قليل مع فقدان للطاقة بمعدل تدفقها إلى داخل المكثف، خصوصاً مع رطوبة كبيرة، أو إذا كان فيها عيوب.

2. **أنشئ الرسوم البيانية واستخدمها** أعد رسماً بيانياً على أن يكون الزمن على المحور الأفقي (x)، وفرق الجهد على المحور الرأسي (y). ارسم خطاً بيانياً منفصلاً خاصاً بكل مكثف.

ستختلف الرسوم البيانية بناءً على البيانات التي حصل عليها الطالب.



الاستنتاج والتطبيق

1. **فسر البيانات** هل يصل جهد المكثف لحظياً إلى جهد مساوٍ لفرق الجهد بين طرفي البطارية (9 V)؟ وضح سبب السلوك الملاحظ.

لا؛ لأن تراكم الشحنات على المكثف يستغرق فترة زمنية اعتماداً على سعته الكهربائية. الزيادة غير خطية. الجهد يساوي الشحنة/ السعة الكهربائية.

2. **استنتج** هل يحتاج المكثف الأكبر سعة إلى زمن أكبر حتى يُشحن تماماً؟ ولماذا؟

المكثف الأكبر يحتاج زمناً أطول حتى يصبح مشحوناً تماماً.

المكثف (μF)	ثابت الزمن (s)
1000	47
100	4.7
10	0.47

1. يعتمد الزمن اللازم لشحن مكثف - أي حتى يصل فرق الجهد بين طرفيه إلى فرق الجهد بين طرفي البطارية - على سعته ومقاومته لتدفق الشحنات خلال الدائرة. في هذه التجربة ضُبطت مقاومة تدفق الشحنات عن طريق توصيل مقاومة مقدارها $47\text{ k}\Omega$ في الدائرة. في الدوائر الكهربائية التي تتضمن مكثفًا ومقاومة مثل الدائرة الواردة في هذه التجربة فإن الزمن -مقيسًا بالثانية- اللازم لشحن المكثف بنسبة 63.3% من الجهد المطبق يساوي حاصل ضرب السعة في المقاومة، ويسمى هذا ثابت الزمن. لذا فإن $T = RC$ ؛ حيث T مقيسة بالثواني، و R مقيسة بالأوم، و C مقيسة بالفاراد. احسب ثابت الزمن لكل مكثف عند توصيله بالمقاومة $47\text{ k}\Omega$.

2. قارن بين ثابت الزمن الذي حصلت عليه والقيم التي حصلت عليها من الرسم البياني.

ستختلف الإجابات بسبب تغير قيمة السعة الكهربائية الحقيقية. ثوابت الزمن لعينة البيانات ترتبط معًا بصورة جيدة.

الفيزياء في الحياة

وضّح آلات التصوير (الكاميرات) الصغيرة المزودة بواضع (فلاش) مخصص للاستعمال مرة واحدة فقط، ووحدات الفلاش الإلكترونية العادية تحتاج إلى مرور زمن معين حتى يصبح الفلاش جاهزًا للاستعمال، حيث يعمل المكثف فيها على تخزين الطاقة لعمل الفلاش. وضّح ما يحدث خلال الزمن الذي يجب أن تنتظره لأخذ الصور الثانية بهذا النوع من الكاميرات.

يجب أن يشحن المكثف لقيمة محدّدة قبل أن يصبح الفلاش جاهزًا للعمل. العوامل المؤثرة في الزمن الذي تحتاج إليه لشحن الفلاش هي السعة الكهربائية للمكثف، والتيار المتاح.

كيف تعمل

How it Works

مانعة الصواعق؟ lightning Rods?

التفكير الناقد

1. كُونْ فرضية ما المسار الذي يسلكه التيار الكهربائي ليصل إلى الأرض إذا لم يكن المنزل مزوداً بمانعة صواعق في أثناء ضربة الصاعقة؟

إذا تعرض منزل غير مُزوّد بمانعة صواعق لصاعقة فإن التيار سينتقل إلى الأرض من خلال المسار الأقل مقاومة. وقد يتضمّن هذا المسار الأنابيب، والأسلاك أو الدعامات الفلزية.

2. قَوْمْ هل يجب أن تكون المقاومة بين نهاية سلك مانعة الصواعق المتصل بالأرض والأرض كبيرة أم صغيرة؟

إن المقاومة بين نهاية سلك مانعة الصواعق المتصل بالأرض (قطب التأريض) والأرض يجب أن تكون قليلة؛ لكيلا يسلك التيار مساراً آخر، ممّا قد يسبّب حدوث ضرر أكبر.

3. استنتج ما المخاطر الناتجة عن التركيب غير الصحيح لنظام مانعة الصواعق؟

ستبقى مانعة الصواعق معرضة للصاعقة، ولكن يمكن أن يتضرّر المبنى إذا كان الموصل أو قطب التأريض لا يوصل التيار إلى الأرض بطريقة آمنة.

الفصل 9

دليل مراجعة الفصل

9-1 توليد المجالات الكهربائية وقياسها Creating and Measuring Electric Fields

المفردات

- المجال الكهربائي
- شحنة الاختبار
- خط المجال الكهربائي

المفاهيم الرئيسية

- يوجد مجال كهربائي حول أي جسم مشحون، ويؤثر هذا المجال بقوة في الأجسام المشحونة الأخرى.
- المجال الكهربائي يساوي القوة الكهربائية المؤثرة على وحدة الشحنات.
- اتجاه المجال الكهربائي هو اتجاه القوة الكهربائية المؤثرة في شحنة اختبار موجبة صغيرة.
- توفر خطوط المجال الكهربائي صورة للمجال الكهربائي؛ حيث تكون دائمًا خارجة من الشحنة الموجبة وداخلة إلى الشحنة السالبة، ولا تتقاطع مطلقًا، وترتبط كثافتها بشدة المجال.

$$E = \frac{F}{q'}$$

9-2 تطبيقات المجالات الكهربائية Applications of Electric Fields

المفردات

- فرق الجهد الكهربائي
- الفولت
- سطح تساوي الجهد
- المكثف الكهربائي
- السعة الكهربائية

المفاهيم الرئيسية

- فرق الجهد الكهربائي يساوي التغير في طاقة الوضع الكهربائية لوحدة الشحنات الكهربائية في المجال الكهربائي.
- يُقاس فرق الجهد الكهربائي بوحدة الفولت.
- يكون المجال الكهربائي بين لوحين مشحونين متوازيين منتظمًا ما عدا النقاط التي تكون عند أطراف اللوحين؛ فيكون المجال عندها غير منتظم. ويرتبط فرق الجهد مع شدة المجال الكهربائي من خلال العلاقة الآتية:

$$\Delta V = \frac{W}{q'}$$

$$\Delta V = Ed$$

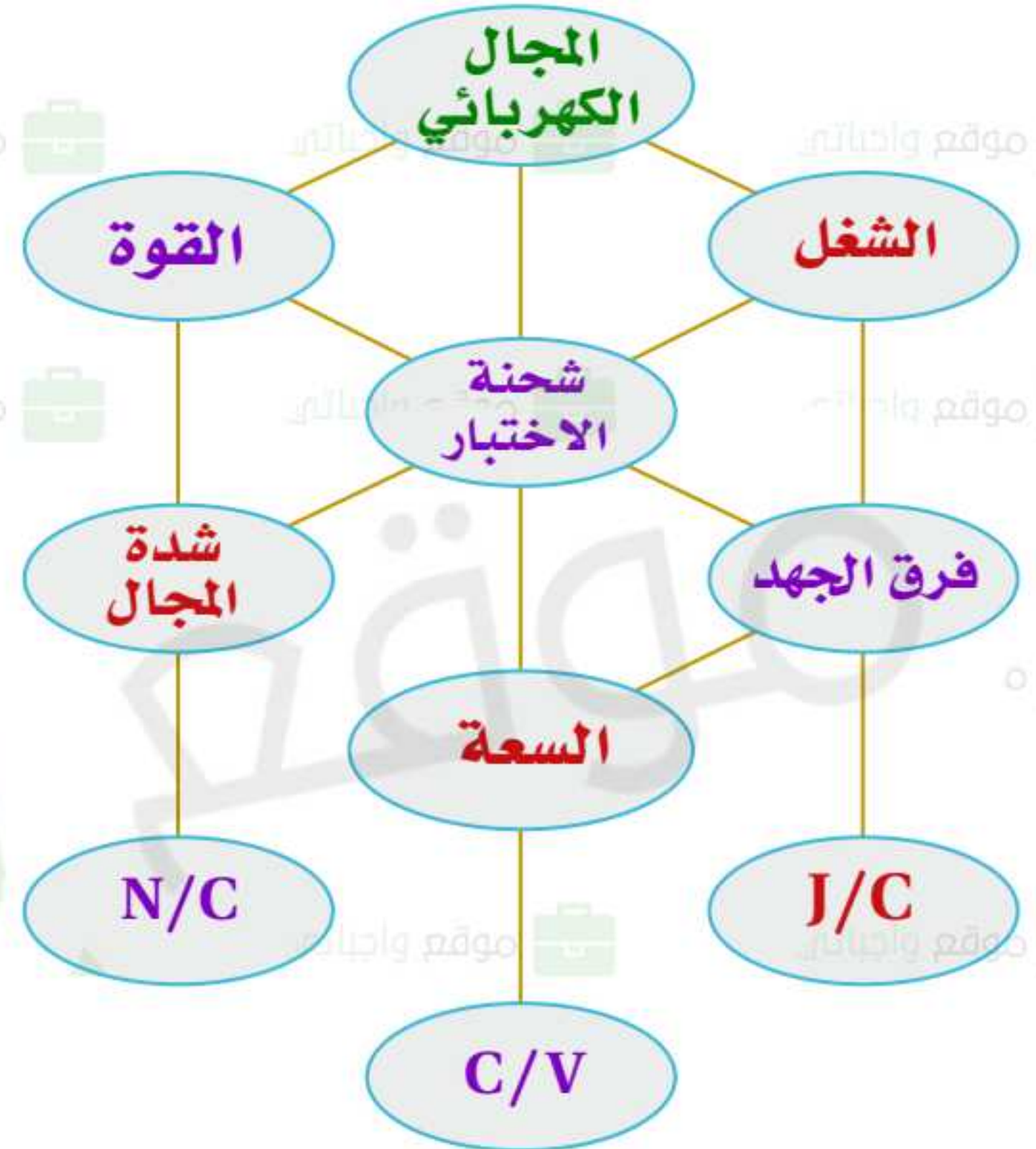
- بينت تجربة ميليكان أن الشحنة الكهربائية مكّمة.
- بين ميليكان أيضًا أن مقدار الشحنة السالبة التي يحملها الإلكترون تساوي $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$.
- تتحرك الشحنات على سطح موصل حتى يصبح الجهد الكهربائي متساويًا في جميع النقاط على سطحه.
- يعمل التأريض على جعل فرق الجهد بين الجسم والأرض صفرًا.
- يمنع التأريض حدوث الشرارة الكهربائية الناتجة عن ملامسة الجسم المتعاقل لأجسام أخرى تراكم عليها كمية كبيرة من الشحنات.
- يكون المجال الكهربائي أكبر ما يمكن عند المناطق المدببة أو الحادة من سطح الموصل.
- السعة الكهربائية هي النسبة بين شحنة جسم وفرق الجهد الكهربائي عليه.
- لا تعتمد السعة الكهربائية على شحنة الجسم ولا على فرق الجهد عليه.
- يستخدم المكثف الكهربائي في تخزين الشحنات الكهربائية.

$$C = \frac{q}{\Delta V}$$

تقويم الفصل 9

خريطة المفاهيم

39. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات الآتية: السعة، شدة المجال، J/C ، الشغل.



إتقان المفاهيم

40. ما الخاصيتان اللتان يجب أن تكونا لشحنة الاختبار؟

يجب أن يكون مقدار شحنة الاختبار صغيراً جداً مقارنة مع مقادير الشحنات التي تولد المجال الكهربائي، كما يجب أن تكون موجبة.

41. كيف يحدّد اتجاه المجال الكهربائي؟

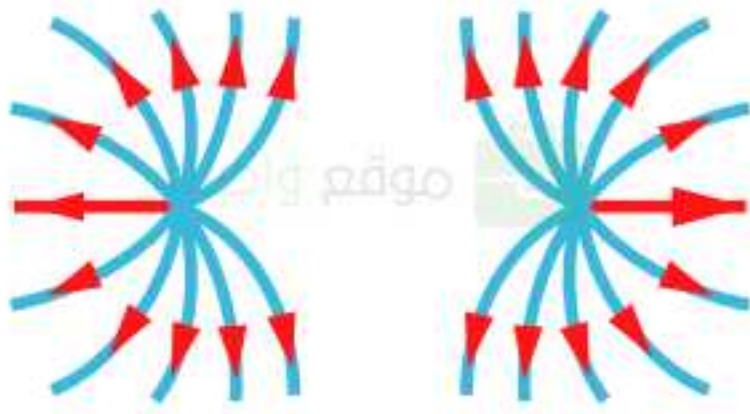
اتجاه المجال هو اتجاه القوة المؤثرة في شحنة موجبة موضوعة في المجال. وبهذا تكون خطوط المجال الكهربائي خارجة من الشحنة الموجبة وداخلة في الشحنة السالبة.

42. ما المقصود بخطوط المجال الكهربائي؟

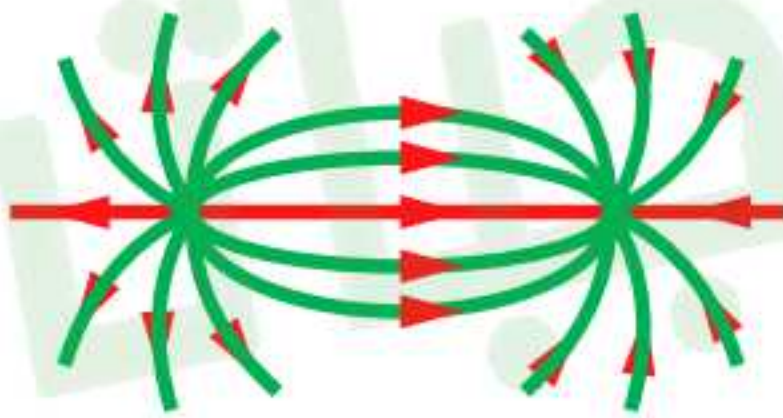
خطوط القوى الكهربائية

43. ارسم بعض خطوط المجال الكهربائي لكل من الحالات الآتية:

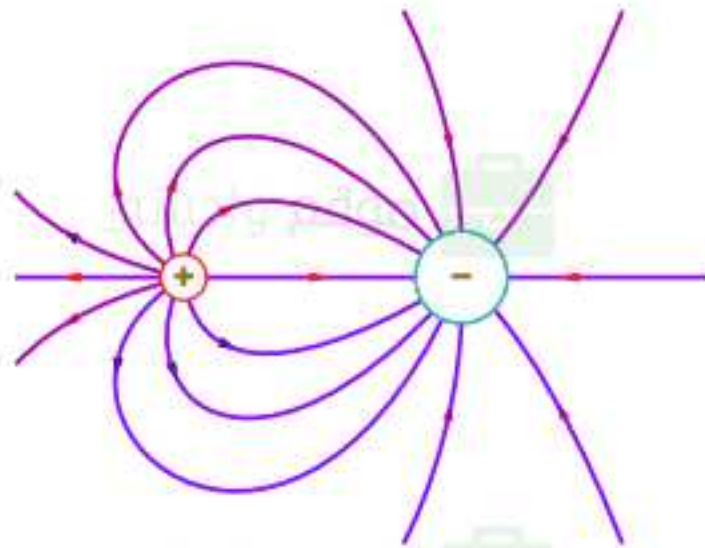
a. شحنتين متساويتين في المقدار ومتماثلتين في النوع.



b. شحنتين مختلفتين في النوع ولهما المقدار نفسه.



c. شحنة موجبة وأخرى سالبة مقدارها يساوي ضعف مقدار الشحنة الموجبة.



d. لوحين متوازيين مختلفين في الشحنة.



تقويم الفصل 9

48. لماذا يفقد الجسم المشحون شحنته عند وصله بالأرض؟

لأن الجسم المشحون يشارك شحنته مع سطح الأرض التي تعدّ جسمًا ضخماً جداً.

49. وضع قضيب مطاطي مشحون على طاولة فحافظ على شحنته بعض الوقت. لماذا لا تُفَرِّغ شحنة القضيب المشحون مباشرة؟

لأن الطاولة مادة عازلة ، أو على الأقل موصل رديء جداً.

50. شُحن صندوق فلزي. قارن بين تركيز الشحنة على زوايا الصندوق وتركيزها على جوانب الصندوق.

يكون تركيز الشحنة عند الزوايا أكبر من تركيزها على جوانب الصندوق .

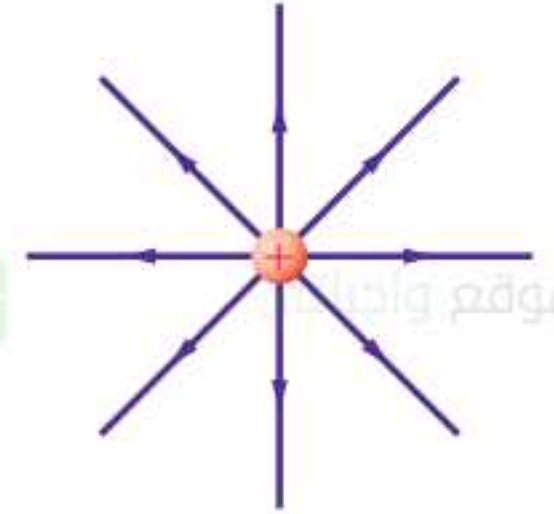
51. أجهزة الحاسوب لماذا توضع الأجزاء الدقيقة في الأجهزة الإلكترونية - كتلك الموضحة في الشكل 9-17- داخل صندوق فلزي موضوع داخل صندوق آخر بلاستيكي؟



الشكل 9-17

لأن الصندوق الفلزي يحمي هذه الأجزاء من المجالات الكهربائية الخارجية التي لا تنفذ إلى داخل الموصل الأجوف.

44. في الشكل 9-16، أين تنتهي خطوط المجال الكهربائي الخارجة من الشحنة الموجبة؟



الشكل 9-16

تنتهي عند شحنات سالبة بعيدة موجودة في مكان ما خارج حواف الرسم التخطيطي.

45. كيف يتم الإشارة لشدة المجال الكهربائي من خلال خطوط المجال الكهربائي؟

كلما تقاربت خطوط المجال بعضها من بعض زادت قوة المجال الكهربائي.

46. ما وحدة قياس طاقة الوضع الكهربائية؟ وما وحدة قياس فرق الجهد الكهربائي، وفق النظام الدولي للوحدات SI؟

وحدة قياس طاقة الوضع الكهربائية هي الجول، ووحدة قياس فرق الجهد الكهربائي هو الفولت.

47. عرّف الفولت بدلالة التغير في طاقة الوضع الكهربائية لشحنة تتحرك في مجال كهربائي.

الفولت هو التغير في طاقة الوضع الكهربائية ΔPE الناتج عن انتقال وحدة شحنة اختبار q مسافة r مقدارها 1 m في مجال كهربائي E مقداره 1 N/C .

$$\Delta V = \frac{\Delta PE}{q} = Er$$

تقويم الفصل 9

تطبيق المفاهيم

52. ماذا يحدث لشدة المجال الكهربائي عندما تنقص شحنة الاختبار إلى نصف قيمتها؟

لا يحدث شيء؛ لأن القوة المؤثرة في شحنة

الاختبار ستقل إلى النصف، أي أن

النسبة $\frac{F'}{q'}$ والمجال الكهربائي تبقى هي نفسها.

53. هل يلزم طاقة أكبر أم طاقة أقل لتحريك شحنة موجبة ثابتة خلال مجال كهربائي متزايد؟

تتناسب الطاقة طردياً مع القوة، وتتناسب

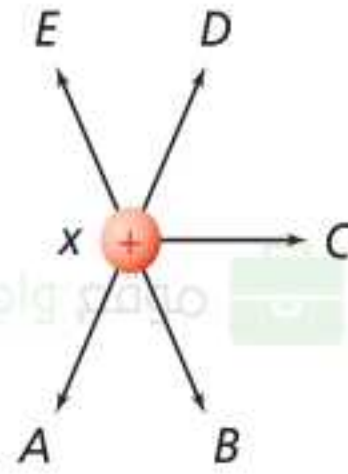
القوة طردياً مع المجال الكهربائي، لذا يلزم طاقة أكبر.

54. ماذا يحدث لطاقة الوضع الكهربائية لجسيم مشحون موجود داخل مجال كهربائي عندما يُطلق الجسيم ليصبح حر الحركة؟

ستتحول طاقة الوضع الكهربائية للجسيم إلى طاقة حركية له.

55. يبين الشكل 9-18 ثلاث كرات مشحونة بالمقدار

نفسه. بالشحنات الموضحة في الشكل. الكرتان y و z ثابتتان في مكانيهما، والكرة x حرة الحركة. والمسافة بين الكرة x وكل من الكرتين y و z في البداية متساوية. حدّد المسار الذي ستبدأ الكرة x في سلوكه، مفترضاً أنه لا يوجد أي قوى أخرى تؤثر في الكرات.



الشكل 9-18

ستسلك الكرة x المسار C؛ لأنها ستتأثر بالقوتين الموضّحتين بالمتجهين B و D، ومحصلتهما هي المتجه C.

56. ما وحدة قياس فرق الجهد الكهربائي بدلالة m، s، kg، C؟

$$V = \frac{J}{C} = \frac{N \cdot m}{C} = \left(\frac{kg \cdot m}{s^2} \right) \left(\frac{m}{C} \right) = kg \cdot m^2 / s^2 \cdot C$$

57. كيف تبدو خطوط المجال الكهربائي عندما يكون للمجال الكهربائي الشدة نفسها عند النقاط جميعها في منطقة ما؟

تكون متوازية، وتفصلها مسافات متساوية

تقويم الفصل 9

61. إذا كان قطرا كرتي ألومنيوم 1 cm و 10 cm فأَي الكرتين لها سعة أكبر؟

للكرة التي قطرها 10 cm سعة كهربائية أكبر؛ لأن الشحنات يمكنها أن تبتعد بعضها عن بعض بصورة أكبر، وهذا يقلل من ارتفاع جهدا عندما تُشحن.

62. كيف يمكنك تخزين كميات مختلفة من الشحنة في مكثف؟

بتغيير الجهد بين طرفي المكثف.

إتقان حل المسائل

1-9 توليد المجالات الكهربائية وقياسها

شحنة الإلكترون تساوي $-1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$ ، استخدم هذه القيمة حيث يلزم.

63. ما مقدار شحنة اختبار إذا تعرضت لقوة مقدارها $1.4 \times 10^{-8} \text{ N}$ عند نقطة شدة المجال الكهربائي فيها $5.0 \times 10^{-4} \text{ N/C}$ ؟

$$E = \frac{F}{q}$$

$$q = \frac{F}{E} = \frac{1.4 \times 10^{-8} \text{ N}}{5.0 \times 10^{-4} \text{ N/C}} = 2.8 \times 10^{-5} \text{ C}$$

64. يوضح الشكل 9-20 شحنة موجبة مقدارها $1.0 \times 10^{-5} \text{ C}$ ، تتعرض لقوة 0.30 N ، عند وضعها عند نقطة معينة. ما شدة المجال الكهربائي عند تلك النقطة؟

0.30 N

$1.0 \times 10^{-5} \text{ C}$

الشكل 9-20

$$E = \frac{F}{q} = \frac{0.30 \text{ N}}{1.0 \times 10^{-5} \text{ C}} = 3.0 \times 10^4 \text{ N/C}$$

وفي اتجاه القوة الكهربائية نفسها (إلى أعلى)

58. تجربة قطرة الزيت للميكانيكا يفضل عند إجراء هذه التجربة استخدام قطرات زيت لها شحنات صغيرة. هل يتعين عليك البحث عن القطرات التي تتحرك سريعاً أو تلك التي تتحرك ببطء عندما يتم تشغيل المجال الكهربائي؟ وضح إجابتك.

يتعين البحث عن القطرات التي تتحرك ببطء؛ فكلما كانت الشحنة أكبر كانت القوة المؤثرة فيها أكبر؛ لذا تكون سرعتها الحدية أكبر.

59. في تجربة ميكانيكا تم تثبيت قطرتي زيت في المجال الكهربائي.

a. هل يمكنك استنتاج أن شحنتيهما متماثلتان؟

لا. قد تكون كتلتاهما مختلفتين.

b. أي خصائص قطرتي الزيت نسبها متساوية؟

نسبة الشحنة إلى الكتلة $\frac{q}{m}$

أو نسبة الكتلة إلى الشحنة $\frac{m}{q}$

60. يقف زيد وأخيه يوسف على سطح مستوي معزول متلامسين بالأيدي عندما تم إكسابهما شحنة، كما هو موضح في الشكل 9-19. إذا كانت المساحة السطحية لجسم زيد أكبر من أخيه فمن منهما يكون له كمية أكبر من الشحنات، أم سيكون لهما المقدار نفسه منها؟



الشكل 9-19

يملك زيد مساحة سطحية أكبر، لذا سيمتلك كمية أكبر من الشحنة.

تقويم الفصل 9

65. إذا كان المجال الكهربائي في الغلاف الجوي يساوي 150 N/C تقريباً، ويتجه إلى أسفل، فأجب عما يأتي:
a. ما اتجاه القوة المؤثرة في جسيم مشحون بشحنة سالبة؟

اتجاه القوة المؤثرة في الجسيم يكون إلى أعلى.

b. أوجد القوة الكهربائية التي يؤثر بها هذا المجال في إلكترون.

$$E = \frac{F}{q}$$

$$F = qE = (1.6 \times 10^{-19} \text{ C})(150 \text{ N/C}) = 2.4 \times 10^{-17} \text{ N}$$

في اتجاه الأعلى $F = 2.4 \times 10^{-17} \text{ N}$

c. قارن بين القوة في الفرع b وقوة الجاذبية الأرضية المؤثرة في الإلكترون نفسه. (كتلة الإلكترون تساوي $9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$)

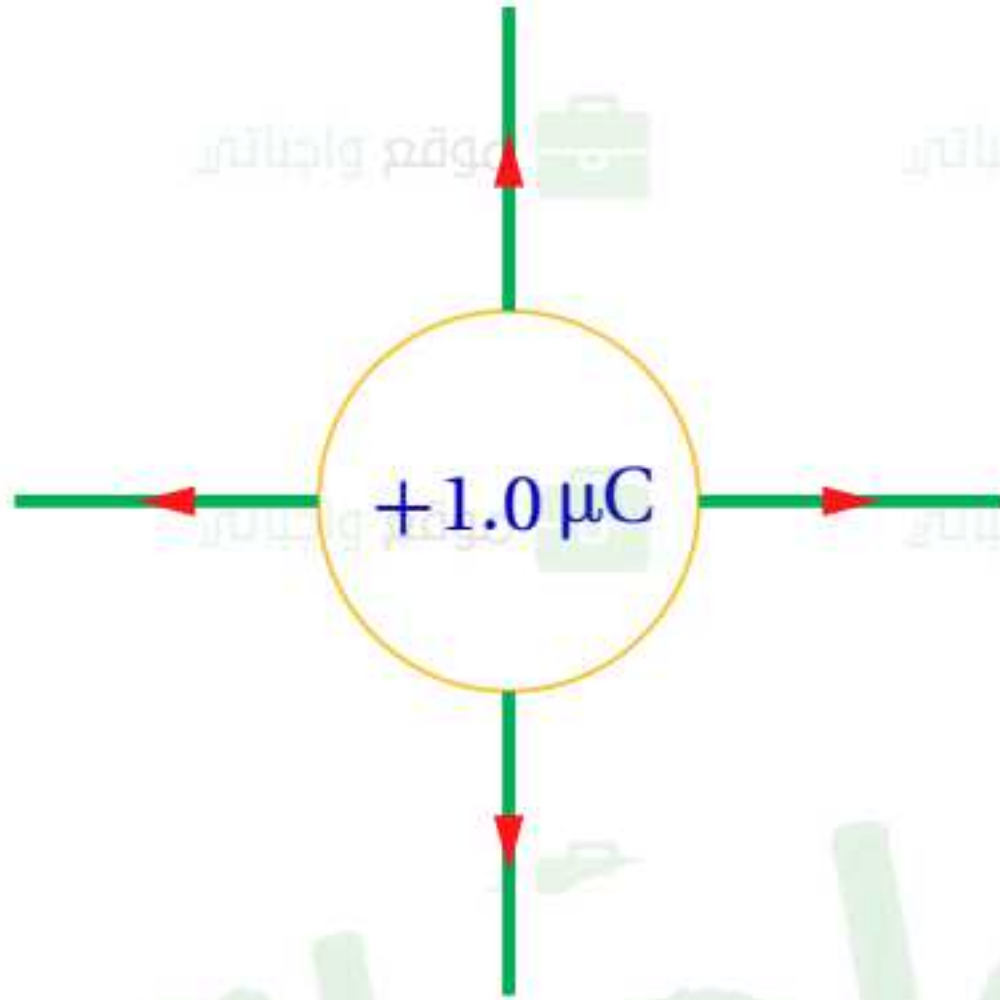
$$F = mg = (9.1 \times 10^{-31} \text{ kg})(9.80 \text{ m/s}^2) = 8.9 \times 10^{-30} \text{ N}$$

(إلى أسفل) $F = 8.9 \times 10^{-30} \text{ N}$

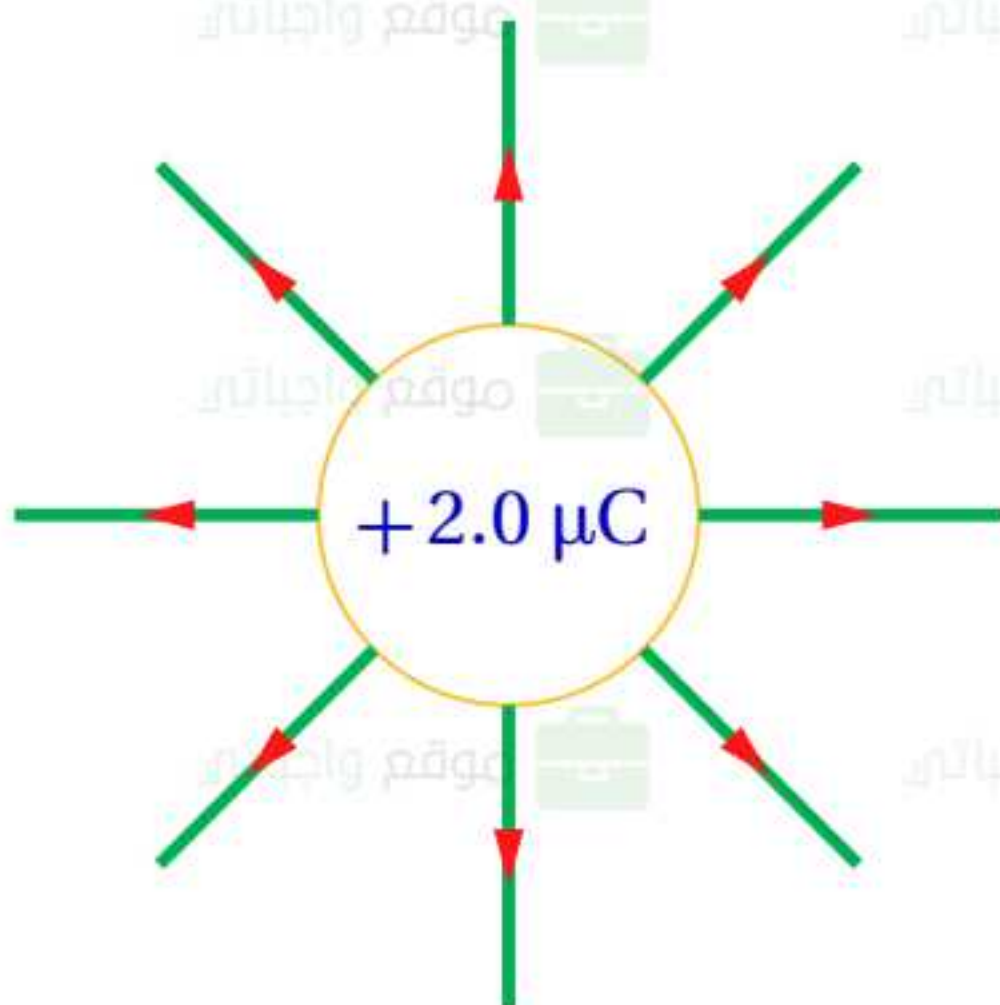
قوة الجاذبية أقل بكثير من ترليون مرة من القوة الكهربائية.

66. ارسم بدقة الحالات الآتية:

a. المجال الكهربائي الناتج عن شحنة مقدارها $+1.0 \mu\text{C}$.

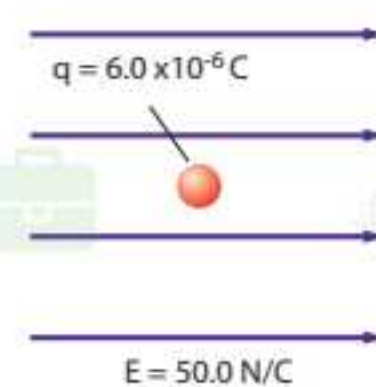


b. المجال الكهربائي الناتج عن شحنة $+2.0 \mu\text{C}$ (اجعل عدد خطوط المجال متناسباً مع التغير في مقدار الشحنة).



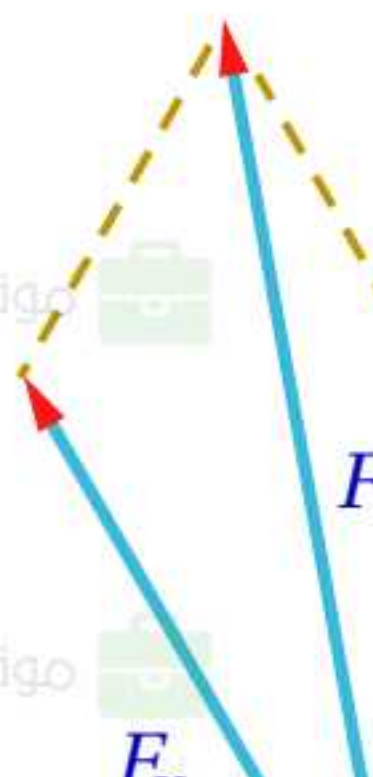
تقويم الفصل 9

67. وضعت شحنة اختبار موجبة مقدارها $6.0 \times 10^{-6} \text{ C}$ في مجال كهربائي شدته 50.0 N/C ، كما هو موضح في الشكل 9-21. ما مقدار القوة المؤثرة في شحنة الاختبار؟



الشكل 9-21

b. إذا كانت الشحنة Z موجبة وصغيرة فارسم سهمًا يمثل القوة المحصلة المؤثرة فيها.



تقويم الفصل 9

b. أوجد مقدار واتجاه القوة المؤثرة في إلكترون موضوع على البعد السابق من النواة.

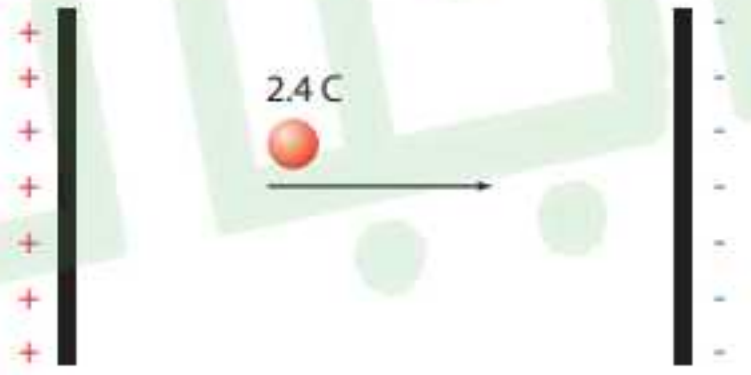
$$F = Eq$$

$$= (1.2 \times 10^{13} \text{ N/C})(-1.60 \times 10^{-19} \text{ C})$$

$$= -1.9 \times 10^{-6} \text{ N, في اتجاه النواة}$$

9-2 تطبيقات المجالات الكهربائية

72. إذا بُذل شغل مقداره 120 J لتحريك شحنة مقدارها 2.4 C من اللوح الموجب إلى اللوح السالب، كما هو موضح في الشكل 9-22، فما فرق الجهد الكهربائي بين اللوحين؟



الشكل 9-22

$$\Delta V = \frac{W}{q} = \frac{120 \text{ J}}{2.4 \text{ C}} = 5.0 \times 10^1 \text{ V}$$

73. ما مقدار الشغل اللازم لنقل شحنة مقدارها 0.15 C خلال فرق جهد كهربائي مقداره 9.0 V؟

$$\Delta V = \frac{W}{q}$$

$$W = q\Delta V = (0.15 \text{ C})(9.0 \text{ V})$$

$$= 1.4 \text{ J}$$

70. أوجد شدة المجال الكهربائي على بُعد 20.0 cm من شحنة نقطية مقدارها $+8 \times 10^{-7} \text{ C}$.

$$E = \frac{F}{q'}, F = \frac{Kqq'}{r^2}$$

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

أي:

$$= \frac{(9.0 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2)(8.0 \times 10^{-7} \text{ C})}{(0.200 \text{ m})^2}$$

$$= 1.8 \times 10^5 \text{ N/C}$$

71. شحنة نواة ذرة رصاص تساوي شحنة 82 بروتوناً. a. أوجد مقدار واتجاه المجال الكهربائي على بُعد $1.0 \times 10^{-10} \text{ m}$ من النواة.

$$Q = (82 \text{ بروتون})(1.60 \times 10^{-19} \text{ C}) = 1.31 \times 10^{-17} \text{ C}$$

$$E = \frac{F}{q} = \frac{1}{q} \left(\frac{KqQ}{r^2} \right) = \frac{KQ}{r^2}$$

$$= \frac{(9.0 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2)(1.31 \times 10^{-17} \text{ C})}{(1.0 \times 10^{-10} \text{ m})^2}$$

$$= 1.2 \times 10^{13} \text{ N/C في اتجاه بعيداً عن النواة}$$

تقويم الفصل 9

74. بذلت بطارية شغلاً مقداره 1200 J لنقل شحنة كهربائية. ما مقدار الشحنة المنقولة إذا كان فرق الجهد بين طرفي البطارية 12 V؟

$$\Delta V = \frac{W}{q}$$

$$q = \frac{W}{\Delta V} = \frac{1200 \text{ J}}{12 \text{ V}} = 1.0 \times 10^2 \text{ C}$$

75. إذا كانت شدة المجال الكهربائي بين لوحين متوازيين مشحونين $1.5 \times 10^3 \text{ N/C}$ ، والبعد بينهما 0.060 m، فما فرق الجهد الكهربائي بين اللوحين بوحدة الفولت؟

$$\Delta V = Er$$

$$= (1.5 \times 10^3 \text{ N/C})(0.060 \text{ m})$$

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

76. تبين قراءة فولتمتر أن فرق الجهد الكهربائي بين لوحين متوازيين مشحونين 70.0 V. إذا كان البعد بين اللوحين 0.020 m فما شدة المجال الكهربائي بينهما؟

$$\Delta V = Er$$

$$E = \frac{\Delta V}{r} = \frac{70.0 \text{ V}}{0.020 \text{ m}} = 3500 \text{ V/m}$$

$$= 3500 \text{ N/C}$$

77. يختزن مكثف موصل بمصدر جهد 45.0 V شحنة مقدارها $90.0 \mu\text{C}$. ما مقدار سعة المكثف؟

$$C = \frac{q}{\Delta V}$$

$$C = \frac{q}{\Delta V} = \frac{90.0 \times 10^{-6} \text{ C}}{45.0 \text{ V}} = 2.00 \mu\text{F}$$

78. تم تثبيت قطرة الزيت الموضحة في الشكل 23-9 والمشحونة بشحنة سالبة في مجال كهربائي شدته $5.6 \times 10^3 \text{ N/C}$. إذا كان وزن القطرة $4.5 \times 10^{-15} \text{ N}$:



الشكل 23-9

a. فما مقدار الشحنة التي تحملها القطرة؟

$$E = \frac{F}{q}$$

$$q = \frac{F}{E} = \frac{4.5 \times 10^{-15} \text{ N}}{5.6 \times 10^3 \text{ N/C}}$$

$$= 8.0 \times 10^{-19} \text{ C}$$

b. وما عدد الإلكترونات الفائضة التي تحملها القطرة؟

إلكترون 1

$$(8.0 \times 10^{-19} \text{ C}) \frac{1}{1.60 \times 10^{-19} \text{ C}} = 5 \text{ إلكترونات}$$

تقويم الفصل 9

81. آلة التصوير يعبر عن الطاقة المخزنة في مكثف سعته C ، وفرق الجهد الكهربائي بين طرفيه ΔV كما يأتي: $W = \frac{1}{2} C \Delta V^2$. ومن التطبيقات على ذلك آلة التصوير الإلكترونية ذات الفلاش الضوئي، كالتي تظهر في الشكل 9-25. إذا شُحن مكثف في آلة تصوير مماثلة سعته $10.0 \mu F$ ، إلى أن أصبح فرق الجهد عليه $3.0 \times 10^2 V$ ، فما مقدار الطاقة المخزنة في المكثف؟



الشكل 9-25

$$W = \frac{1}{2} C \Delta V^2$$

$$= \frac{1}{2} (10.0 \times 10^{-6} F) (3.0 \times 10^2 V)^2$$

$$= 0.45 J$$

82. افترض أن شحن المكثف في المسألة السابقة استغرق 25 s، وأجب عما يأتي:
a. أوجد متوسط القدرة اللازمة لشحن المكثف خلال هذا الزمن.

$$P = \frac{W}{t} = \frac{0.45 J}{25 s} = 1.8 \times 10^{-2} W$$

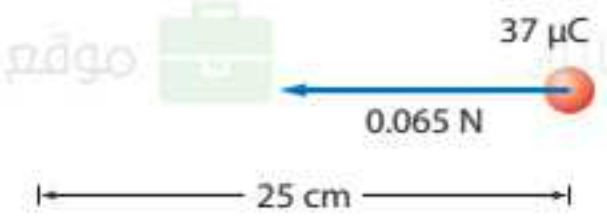
79. ما شحنة مكثف سعته $15.0 pF$ عند توصيله بمصدر جهد $45.0 V$ ؟

$$C = \frac{q}{\Delta V}$$

$$q = C \Delta V = (15.0 \times 10^{-12} F) (45.0 V)$$

$$= 6.75 \times 10^{-10} C$$

80. إذا لزم قوة مقدارها $0.065 N$ لتحريك شحنة مقدارها $37 \mu C$ مسافة $25 cm$ في مجال كهربائي منتظم، كما يوضح الشكل 9-24، فما مقدار فرق الجهد الكهربائي بين النقطتين؟



الشكل 9-24

$$W = Fr$$

$$\Delta V = \frac{W}{q} = \frac{Fr}{q}$$

$$= \frac{(0.065 N)(0.25 m)}{37 \times 10^{-6} C}$$

$$= 4.4 \times 10^2 V$$

تقويم الفصل 9

c. إذا تم شحن المكثفات بمولد قدرته 1.0 kW، فما الزمن بالثواني اللازم لشحن المكثفات؟

$$t = \frac{W}{P} = \frac{3.1 \times 10^6 \text{ J}}{1.0 \times 10^{-3} \text{ W}} = 3.1 \times 10^3 \text{ s}$$

مراجعة عامة

84. ما مقدار الشغل المبذول لتحريك شحنة مقدارها $0.25 \mu\text{C}$ بين لوحين متوازيين، البعد بينهما 0.40 cm ، إذا كان المجال بين اللوحين 6400 N/C ؟

$$\begin{aligned} W &= q\Delta V = qEr \\ &= (2.5 \times 10^{-7} \text{ C})(6400 \text{ N/C})(4.0 \times 10^{-3} \text{ m}) \\ &= 6.4 \times 10^{-6} \text{ J} \end{aligned}$$

85. ما مقدار الشحنات المختزنة في مكثف ذي لوحين متوازيين سعته $0.22 \mu\text{F}$ ، إذا كان البعد بين لوحيه 1.2 cm ، والمجال الكهربائي بينهما 2400 N/C ؟

$$\begin{aligned} q &= C\Delta V = CEr \\ &= (2.2 \times 10^{-7} \text{ F})(2400 \text{ N/C})(1.2 \times 10^{-2} \text{ m}) \\ &= 6.3 \mu\text{C} \end{aligned}$$

b. عند تفريغ شحنة هذا المكثف خلال مصباح الفلاش يفقد طاقته كاملة خلال زمن مقداره $1.0 \times 10^{-4} \text{ s}$. أوجد القدرة التي تصل إلى مصباح الفلاش.

$$P = \frac{W}{t} = \frac{0.45 \text{ J}}{1.0 \times 10^{-4} \text{ s}} = 4.5 \times 10^3 \text{ W}$$

c. ما أكبر قيمة ممكنة للقدرة؟

تتناسب القدرة عكسياً مع الزمن؛ فكلما قل زمن استهلاك كمية محددة من الطاقة زادت القدرة الناتجة.

83. الليزر تستخدم أجهزة الليزر لمحاولة إنتاج تفاعلات اندماج نووي مسيطر عليها. ويتطلب تشغيل هذه الليزر نبضات صغيرة من الطاقة تُخزن في غرف كبيرة مملوءة بالمكثفات. وتقدر السعة الكهربائية لغرفة واحدة بـ $61 \times 10^{-3} \text{ F}$ تشحن حتى يبلغ فرق الجهد عليها 10.0 kV .

a. إذا علمت أن $W = \frac{1}{2} C\Delta V^2$ فأوجد الطاقة المختزنة في المكثفات.

$$\begin{aligned} W &= \frac{1}{2} C\Delta V^2 \\ &= \left(\frac{1}{2}\right)(61 \times 10^{-3} \text{ F})(1.00 \times 10^4 \text{ V})^2 \\ &= 3.1 \times 10^6 \text{ J} \end{aligned}$$

b. إذا تم تفريغ المكثفات خلال 10 ns (أي $1.0 \times 10^{-8} \text{ s}$) فما مقدار الطاقة الناتجة؟

$$P = \frac{W}{t} = \frac{3.1 \times 10^6 \text{ J}}{1.0 \times 10^{-8} \text{ s}} = 3.1 \times 10^{14} \text{ W}$$

تقويم الفصل 9

87. إذا شُحن هذا المكثف حتى أصبح فرق الجهد بين لوحيه 120 V فما مقدار الشحنة المختزنة فيه؟

$$C = \frac{q}{\Delta V}$$

$$q = C\Delta V$$

$$= (4.7 \times 10^{-8} F)(120 V)$$

$$= 5.6 \times 10^{-6} C = 5.6 \mu C$$

88. ما مقدار شدة المجال الكهربائي بين لوحي المكثف؟

$$\Delta V = Er$$

$$E = \frac{\Delta V}{r}$$

$$= \frac{120 V}{2.5 \times 10^{-3} m} = 4.8 \times 10^4 V/m$$

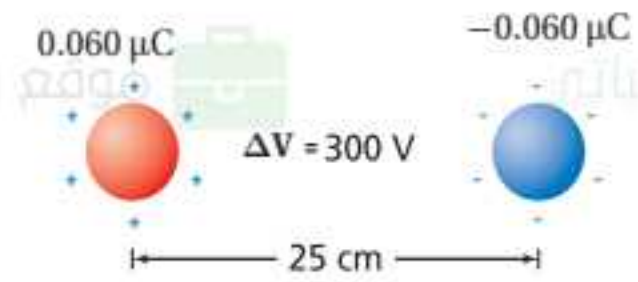
89. إذا وضع إلكترون بين لوحي المكثف فما مقدار القوة المؤثرة فيه؟

$$E = \frac{F}{q}$$

$$F = qE = (4.8 \times 10^4 V/m) (1.6 \times 10^{-19} C)$$

$$= 7.7 \times 10^{-15} N$$

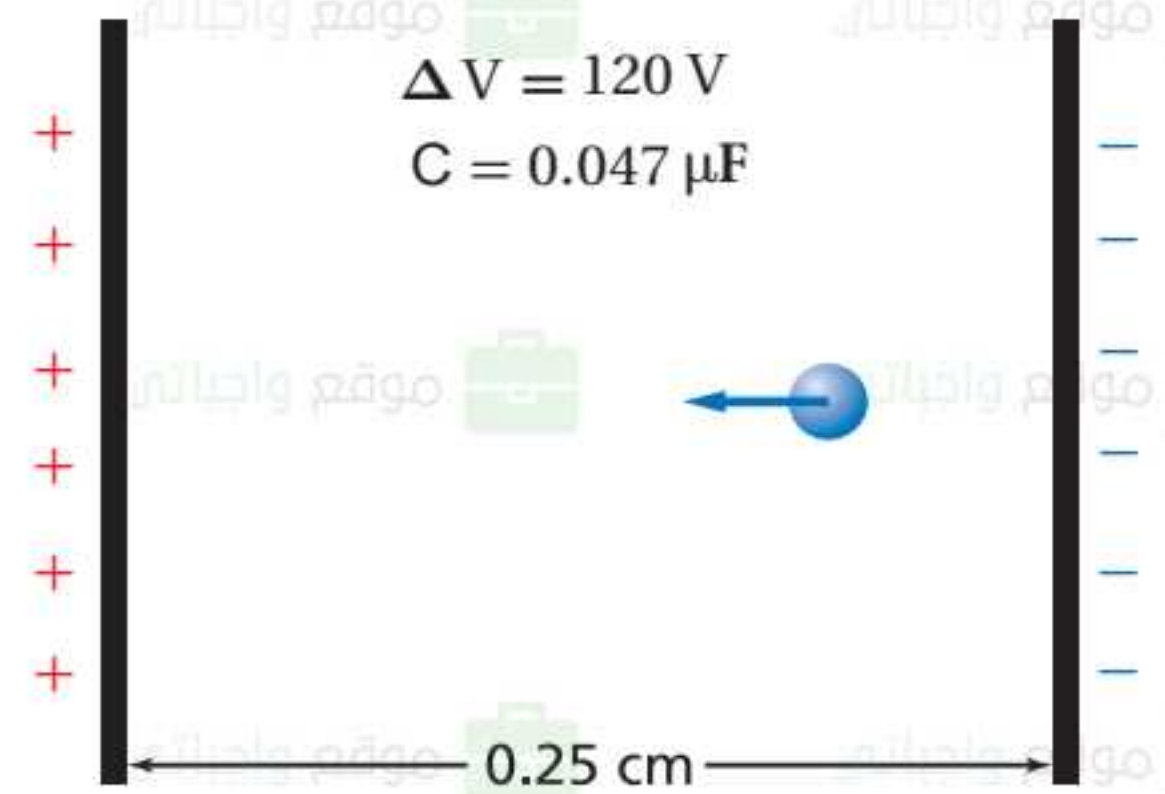
86. يبين الشكل 9-26 كرتين فلزيتين صغيرتين متماثلتين، البعد بينهما 25 cm، وتحملان شحنتين مختلفتين في النوع، مقدار كل منهما $0.060 \mu C$. إذا كان فرق الجهد بينهما 300 V فما مقدار السعة الكهربائية للنظام؟



الشكل 9-26

$$C = \frac{q}{\Delta V} = \frac{6.0 \times 10^{-8} C}{300 V} = 2 \times 10^{-10} F$$

ارجع إلى المكثف الموضح في الشكل 9-27 عند حل المسائل 87-90.



الشكل 9-27

تقويم الفصل 9

91. ماذا يمثل ميل الخط الموضح على الرسم البياني؟

السعة الكهربائية للمكثف.

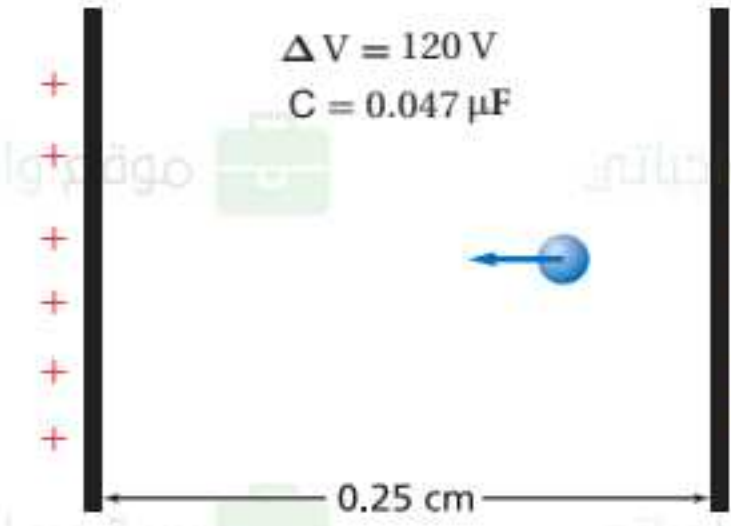
92. ما سعة المكثف الممثل في هذا الشكل؟

$$C = 0.50 \mu F = \text{الميل}$$

93. ماذا تمثل المساحة تحت الخط البياني؟

الشغل المبذول لشحن المكثف.

90. ما مقدار الشغل اللازم لتحريك شحنة إضافية مقدارها $0.010 \mu C$ بين لوحَي المكثف عندما يكون فرق الجهد بينهما $120 V$ ؟



الشكل 9-27

$$W = q \Delta V$$

$$= (1.0 \times 10^{-8} C)(120 V) = 1.2 \times 10^{-6} J$$

94. ما مقدار الشغل اللازم لشحن هذا المكثف ليصبح فرق الجهد بين لوحيه $25 V$ ؟

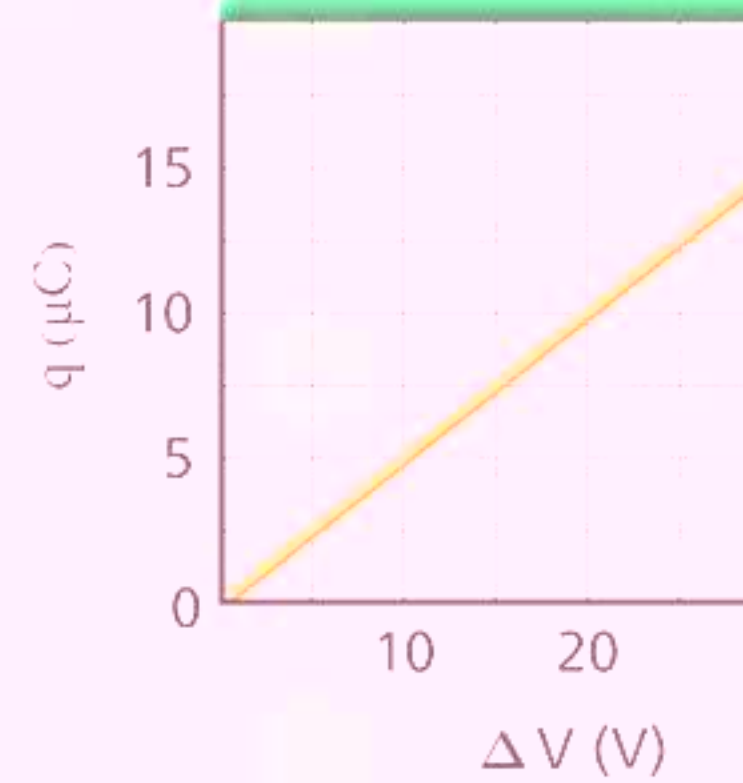
$$W = \frac{1}{2} (\text{الطول} \times \text{العرض}) = \frac{1}{2} (\text{المساحة})$$

$$= \left(\frac{1}{2} \right) (25 V)(12.5 \mu C)$$

$$= 160 \mu J$$

اسم البياني الموضح في الشكل 9-28، الذي يبين العلاقة بين شحنة المكثف في المختبر في أثناء زيادة فرق الجهد بين لوحيه. عند حل المسائل 91-95.

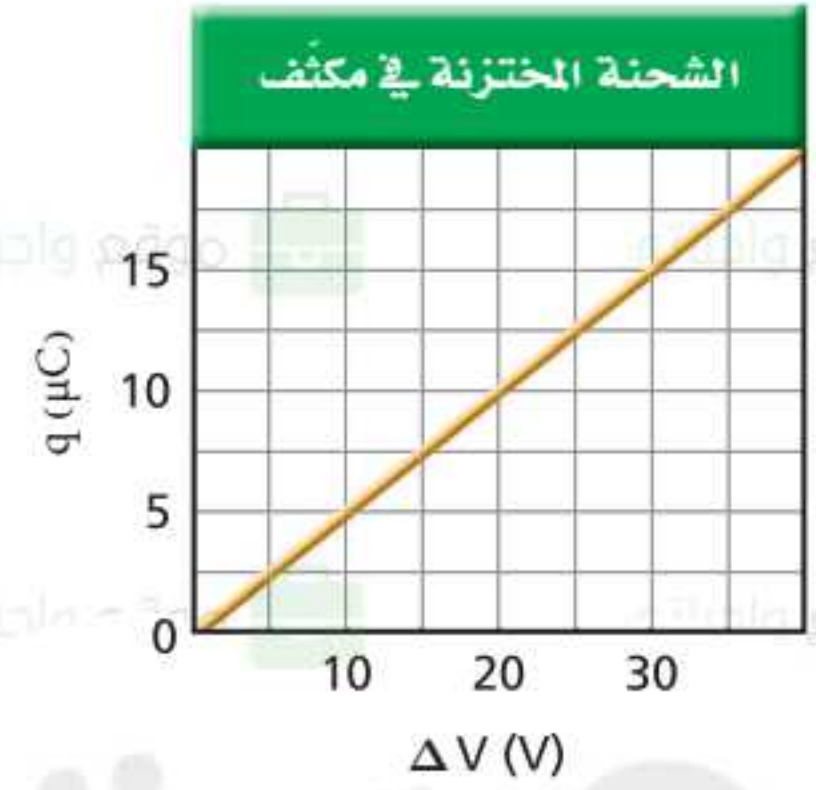
الشحنة المختزنة في مكثف



الشكل 9-28

تقويم الفصل 9

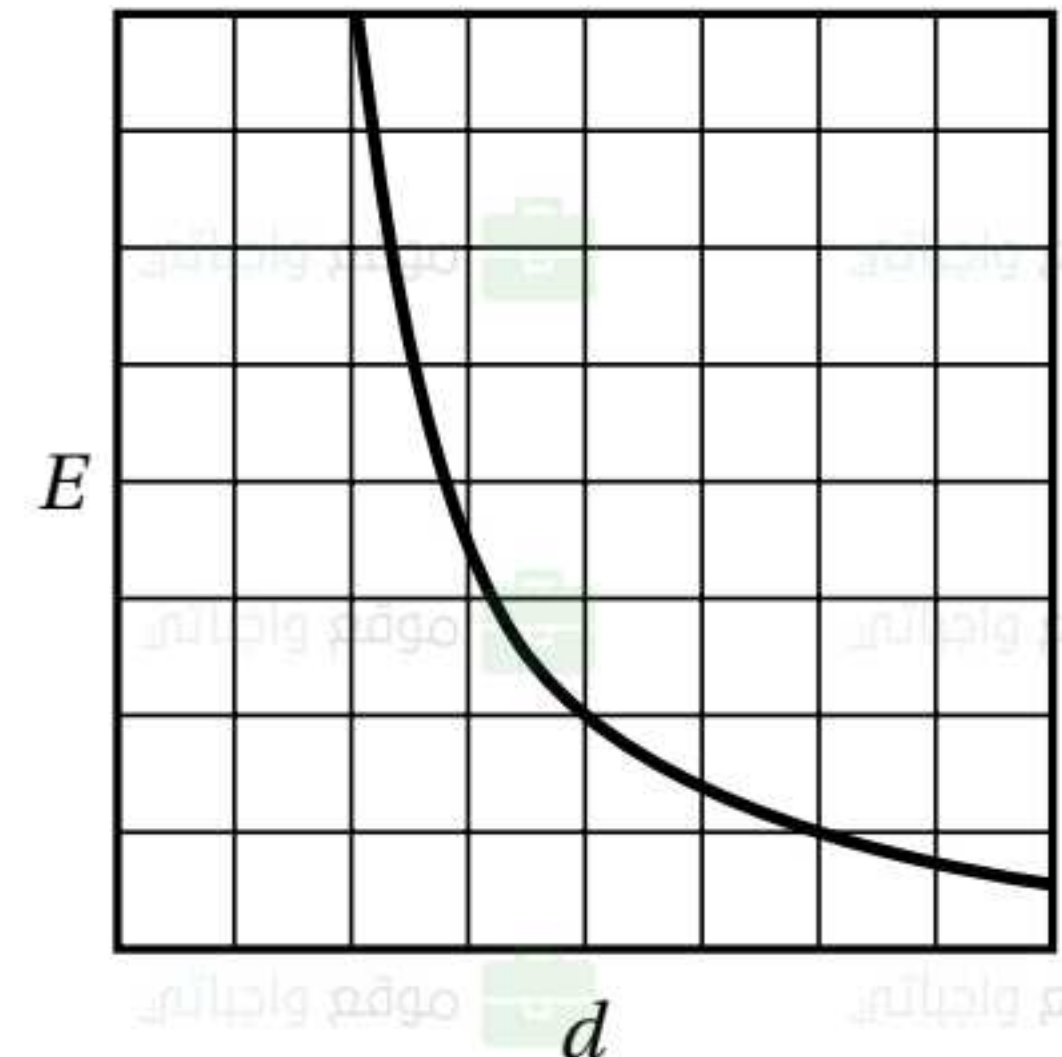
95. لماذا لا يساوي الشغل الناتج في المسألة السابقة المقدار $q\Delta V$ ؟



الشكل 28-9

لأن فرق الجهد لا يكون ثابتاً في أثناء شحن المكثف، لذا يجب حساب المساحة تحت المنحنى البياني لإيجاد الشغل، وليس فقط من حسابات ضرب بسيطة.

96. مثل بيانياً شدة المجال الكهربائي الناشئ بالقرب من شحنة نقطية موجبة، على شكل دالة رياضية في البعد عنها.



97. أين يكون المجال الكهربائي الناشئ عن شحنة نقطية صفراً؟

لا يوجد مكان، أو عند مسافة لانهائية من الشحنة النقطية.

98. ما شدة المجال الكهربائي على بُعد 0 m من شحنة نقطية؟ هل هناك شيء يشبه الشحنة النقطية تماماً؟

لا نهائي. لا.

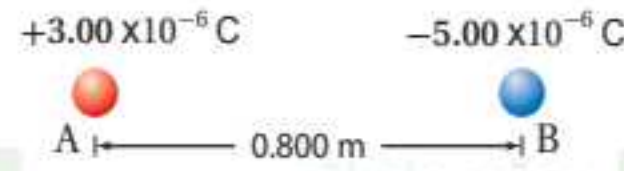
التفكير الناقد

99. تطبيق المفاهيم على الرغم من تصميم قضيب مانعة الصواعق ليوصل الشحنات بأمان إلى الأرض، إلا أن هدفه الرئيس هو منع ضربة الصاعقة في المقام الأول، فكيف تؤدي مانعة الصواعق هذا الهدف؟

إن النقطة الحادة عند نهاية القضيب تُسَرِّب شحنات إلى الغلاف الجوي قبل أن ينتج عن تراكمها فرق جهد يكون كافياً

لحدوث ضربة صاعقة البرق.

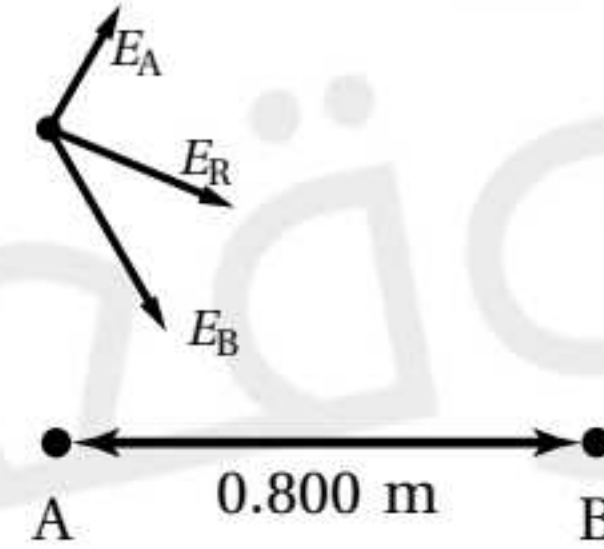
تقويم الفصل 9



الشكل 9-29

100. **حل واستنتج** وُضعت الكرتان الصغيرتان A و B على محور x ، كما هو موضح في الشكل 9-29. فإذا كانت شحنة الكرة A تساوي $3.00 \times 10^{-6} \text{ C}$ والكرة B تبعد مسافة مقدارها 0.800 m عن يمين الكرة A، وتحمل شحنة مقدارها $-5.00 \times 10^{-6} \text{ C}$ ، فإن شدة المجال الكهربائي واتجاهه عند نقطة فوق المحور x ، بحيث تشكل هذه النقطة رأس مثلث متساوي الأضلاع مع الكرتين A و B؟

ترسم الكرات التي تمثل الشحنات وكذلك المتجهات التي تمثل المجال الكهربائي للشحنات عند النقطة المحددة.



$$E_A = \frac{F_A}{q'} = \frac{Kq_A}{r^2} = \frac{(9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2)(3.00 \times 10^{-6} \text{ C})}{(0.800 \text{ m})^2} = 4.22 \times 10^4 \text{ N/C}$$

$$E_B = \frac{F_B}{q'} = \frac{Kq_B}{r^2} = \frac{(9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2)(5.00 \times 10^{-6} \text{ C})}{(0.800 \text{ m})^2} = 7.03 \times 10^4 \text{ N/C}$$

$$E_{Ax} = E_A \cos 60.0^\circ = (4.22 \times 10^4 \text{ N/C})(\cos 60.0^\circ) = 2.11 \times 10^4 \text{ N/C}$$

$$E_{Ay} = E_A \sin 60.0^\circ = (4.22 \times 10^4 \text{ N/C})(\sin 60.0^\circ) = 3.65 \times 10^4 \text{ N/C}$$

$$E_{Bx} = E_B \cos (-60.0^\circ) = (7.03 \times 10^4 \text{ N/C})(\cos -60.0^\circ) = 3.52 \times 10^4 \text{ N/C}$$

$$E_{By} = E_B \sin (-60.0^\circ) = (7.03 \times 10^4 \text{ N/C})(\sin -60.0^\circ) = -6.09 \times 10^4 \text{ N/C}$$

$$E_x = E_{Ax} + E_{Bx} = (2.11 \times 10^4 \text{ N/C}) + (3.52 \times 10^4 \text{ N/C}) = 5.63 \times 10^4 \text{ N/C}$$

$$E_y = E_{Ay} + E_{By} = (3.65 \times 10^4 \text{ N/C}) + (-6.09 \times 10^4 \text{ N/C}) = -2.44 \times 10^4 \text{ N/C}$$

$$E_R = \sqrt{E_x^2 + E_y^2} = 6.14 \times 10^4 \text{ N/C}$$

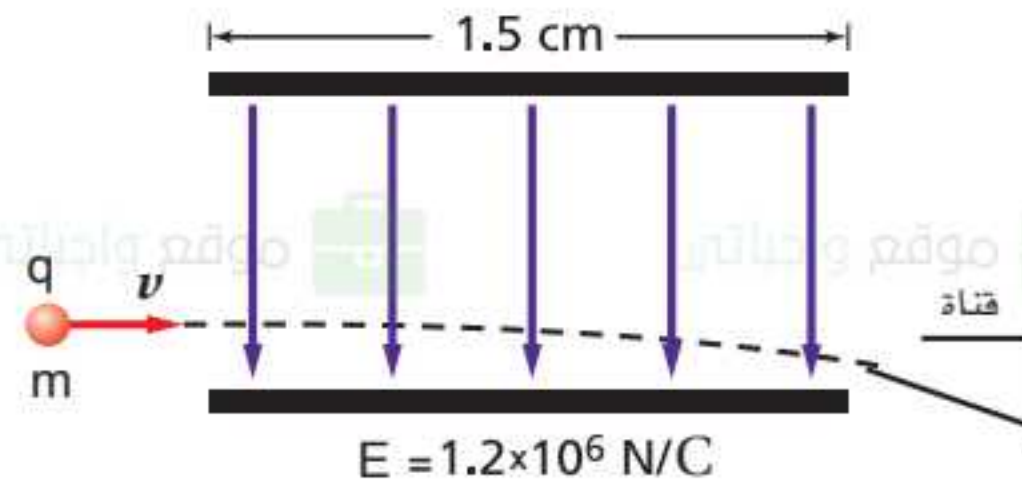
$$\tan \theta = \frac{E_y}{E_x}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{E_y}{E_x}\right)$$

$$= \tan^{-1}\left(\frac{-2.44 \times 10^4 \text{ N/C}}{5.63 \times 10^4 \text{ N/C}}\right)$$

$$= -23.4^\circ$$

تقويم الفصل 9



الشكل 9-30

101. **حل واستنتج** في طابعة نفث الحبر، تُعطى قطرات الحبر كمية معينة من الشحنة قبل أن تتحرك بين لوحين كبيرين متوازيين، الهدف منها توجيه الشحنات بحيث يتم إيقافها لتتحرك في قناة؛ لكي لا تصل إلى الورقة، كما هو موضح في الشكل 9-30. ويبلغ طول كل لوح 1.5 cm، ويتولد بينهما مجال كهربائي مقداره $1.2 \times 10^6 \text{ N/C}$. فإذا تحركت قطرات حبر، كتلة كل منها 0.10 ng ، وشحنتها $1.0 \times 10^{-16} \text{ C}$ ، أفقيًا بسرعة 15 m/s في اتجاه موازٍ للوحين، كما في الشكل، فما مقدار الإزاحة الرأسية للقطرات لحظة مغادرتها اللوحين؟ لمساعدتك على إجابة السؤال أجب عن الأسئلة الآتية:

a. ما القوة الرأسية المؤثرة في القطرات؟

$$F = Eq$$

$$= (1.0 \times 10^{-16} \text{ C})(1.2 \times 10^6 \text{ N/C})$$

$$= 1.2 \times 10^{-10} \text{ N}$$

b. ما مقدار التسارع الرأسية للقطرات؟

$$a = \frac{F}{m} = \frac{1.2 \times 10^{-10} \text{ N}}{1.0 \times 10^{-13} \text{ kg}} = 1.2 \times 10^3 \text{ m/s}^2$$

c. ما الزمن الذي بقيت فيه القطرات بين اللوحين؟

$$t = \frac{L}{v} = \frac{1.5 \times 10^{-2} \text{ m}}{15 \text{ m/s}} = 1.0 \times 10^{-3} \text{ s}$$

d. ما إزاحة القطرات؟

$$y = \frac{1}{2} at^2$$

$$= \left(\frac{1}{2}\right)(1.2 \times 10^3 \text{ m/s}^2)(1.0 \times 10^{-3} \text{ s})^2$$

$$= 6.0 \times 10^{-4} \text{ m} = 0.60 \text{ mm}$$

تقويم الفصل 9

102. **تطبيق المفاهيم** افترض أن القمر يحمل شحنة فائضة تساوي $-q$ ، وأن الأرض تحمل شحنة فائضة تساوي $+10q$ ، ما مقدار الشحنة q التي تنتج مقدار القوة نفسه الناتج عن قوة الجاذبية بين كتلتيهما؟

بمساواة العلاقتين الرياضيتين لقوة الجاذبية وقوة كولوم بين الأرض والقمر:

$$F = \frac{Gm_E m_M}{r^2} = \frac{Kq_E q_M}{r^2} = \frac{10Kq^2}{r^2}$$

حيث $-q$ الشحنة المحصلة (الصافية) التي يحملها القمر و q_E

الشحنة الموجبة المحصلة (الصافية) التي تحملها الأرض وتساوي $+10q$.

وبحل المعادلة بالرموز ثم التعويض بالأرقام ينتج:

$$q = \sqrt{\frac{Gm_E m_M}{10K}}$$

$$= \sqrt{\frac{(6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2)(6.00 \times 10^{24} \text{ kg})(7.31 \times 10^{22} \text{ kg})}{(10)(9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2)}}$$

$$= 1.8 \times 10^{13} \text{ C}$$

الكتابة في الفيزياء

103. اختر اسماً لوحدة كهربائية، مثل: الكولوم، أو الفولت، أو الفاراد، وابحث عن حياة وعمل العالم الذي سُميت باسمه. واكتب مقالة موجزة عن هذا العالم على أن تتضمن مناقشة العمل الذي برّر إطلاق اسمه على تلك الوحدة.

ستختلف إجابات الطلاب، بعض الأمثلة من العلماء الذين يمكن

أن يختارهم الطلاب: فولتا، أو كولوم، أو أوم، أو أمبير.

تقويم الفصل 9

مراجعة تراكمية

104. إذا كانت القوة بين شحنتين Q و q تساوي F عندما كانت المسافة بينهما r ، فأوجد مقدار القوة الجديدة التي تنتج في كل حالة من الحالات الآتية:

a. مضاعفة r ثلاث مرات.

$$\frac{F}{9}$$

b. مضاعفة Q ثلاث مرات.

$$3F$$

c. مضاعفة كل من r ، و Q ثلاث مرات.

$$\frac{F}{3}$$

d. مضاعفة كل من r ، و Q مرتين.

$$\frac{F}{2}$$

e. مضاعفة كل من r ، و Q ، و q ثلاث مرات.

$$F$$

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. لماذا يقاس المجال الكهربائي بشحنة اختبار صغيرة فقط؟

☒ حتى لا تُشَتَّت الشحنة المجال.

☐ لأن الشحنات الصغيرة لها زخم قليل.

☐ حتى لا يؤدي مقدارها إلى دفع الشحنة المراد قياسها جانباً.

☐ لأن الإلكترون يستخدم دائماً بوصفه شحنة اختبار، وشحنة الإلكترونات صغيرة.

2. إذا تأثرت شحنة مقدارها $2.1 \times 10^{-9} \text{ C}$ بقوة مقدارها 14 N ، فما مقدار المجال الكهربائي المؤثر؟

☐ $0.15 \times 10^{-9} \text{ N/C}$

☐ $6.7 \times 10^{-9} \text{ N/C}$

☐ $29 \times 10^{-9} \text{ N/C}$

☒ $6.7 \times 10^9 \text{ N/C}$

3. تتأثر شحنة اختبار موجبة مقدارها $8.7 \mu\text{C}$ بقوة

$8.1 \times 10^{-6} \text{ N}$ في اتجاه يصنع زاوية 24° شمال الشرق.

ما مقدار شدة المجال الكهربائي واتجاهه في موقع شحنة الاختبار؟

☐ $7.0 \times 10^{-8} \text{ N/C}$ ، 24° شمال الشرق.

☐ $1.7 \times 10^{-6} \text{ N/C}$ ، 24° جنوب الغرب.

☐ $1.1 \times 10^{-3} \text{ N/C}$ ، 24° غرب الجنوب.

☒ $9.3 \times 10^{-1} \text{ N/C}$ ، 24° شمال الشرق.

4. ما مقدار فرق الجهد الكهربائي بين لوحين يبعد

أحدهما عن الآخر 18 cm ، والمجال الكهربائي بينهما

$4.8 \times 10^3 \text{ N/C}$

☐ 27 V

☐ 86 V

☒ 0.86 kV

☐ 27 kV

5. ما مقدار الشغل المبذول على بروتون عند نقله من لوح

سالب الشحنة إلى لوح موجب الشحنة، إذا كانت

المسافة بين اللوحين 4.3 cm ، والمجال الكهربائي بينهما

125 N/C ؟

☐ $5.5 \times 10^{-23} \text{ J}$

☒ $8.6 \times 10^{-19} \text{ J}$

☐ $1.1 \times 10^{-16} \text{ J}$

☐ 5.4 J



6. كيف تم تحديد قيمة المجال الكهربائي في تجربة قطرة

الزيت لمليكان؟

☐ باستخدام مغناطيس كهربائي قابل للقياس.

☒ من خلال فرق الجهد الكهربائي بين اللوحين.

☐ من خلال مقدار الشحنة.

☐ بمقياس كهربائي.

7. في تجربة قطرة الزيت، تم تثبيت قطرة زيت وزنها

$1.9 \times 10^{-14} \text{ N}$ عندما كان فرق الجهد بين اللوحين

0.78 kV ، والبعد بينهما 63 mm ، كما هو موضح في

الشكل في الصفحة الآتية. ما مقدار الشحنة على القطرة؟

☒ $-1.5 \times 10^{-18} \text{ C}$ (A)

☐ $-3.9 \times 10^{-16} \text{ C}$

☐ $-1.2 \times 10^{-15} \text{ C}$

☐ $-9.3 \times 10^{-13} \text{ C}$

اختبار مقنن



8. مكثف سعته $0.093 \mu\text{F}$. إذا كانت شحنته $58 \mu\text{C}$ فما مقدار فرق الجهد الكهربائي عليه؟

☐ $5.4 \times 10^{-12} \text{ V}$

☐ $1.6 \times 10^{-6} \text{ V}$

☒ $6.2 \times 10^2 \text{ V}$

☐ $5.4 \times 10^3 \text{ V}$

الأسئلة الممتدة

9. افترض أن قطرة زيت تحمل 18 إلكترونًا إضافيًا. احسب شحنة قطرة الزيت، واحسب فرق الجهد الكهربائي اللازم لتثبيتها بين لوحين فلزيين متوازيين ومشحونين البعد بينهما 14.1 mm ، إذا كان وزنها $6.12 \times 10^{-14} \text{ N}$.

شحنة قطرة الزيت: $C = 2.88 \times 10^{-18} = (1.60 \times 10^{-19} \text{ C})(18)$

فرق الجهد الكهربائي اللازم: $V = 3.00 \times 10^2 = (6.12 \times 10^{-4} \text{ N}) \left(\frac{1.41 \times 10^2 \text{ m}}{2.88 \times 10^{-18} \text{ C}} \right)$

✓ إرشاد

استعمل نظام الأصدقاء

ادرس ضمن مجموعة؛ لأن الدراسة في مجموعة صغيرة تتيح لك الاستفادة من المهارات والمعارف من معين أوسع. واحرص على أن تكون مجموعتك صغيرة ما أمكنك، وتبادلوا طرح الأسئلة فيما بينكم، وركّزوا في نقاشكم وتجنبوا الخوض في موضوعات جانبية.

مصادر تعليمية للطالب

- دليل الرياضيات
- الجداول
- المصطلحات

دليل الرياضيات

يمكنك الاطلاع على الدليل من خلال
زيارة الرابط التالي:



الجداول

الوحدات الأساسية SI		
الرمز	الاسم	الكمية
m	meter	الطول
kg	kilogram	الكتلة
s	second	الزمن
K	kelvin	درجة الحرارة
mol	mole	مقدار المادة
A	ampere	التيار الكهربائي
cd	candela	شدة الإضاءة

وحدات SI المشتقة				
القياس	الوحدة	الرمز	معبارة بالوحدات الأساسية	معبارة بوحدات SI أخرى
التسارع		m/s^2	m/s^2	
المساحة		m^2	m^2	
الكثافة		kg/m^3	kg/m^3	
الشغل، الطاقة	joul	J	$kg.m^2/s^2$	N.m
القوة	newton	N	$kg.m/s^2$	
القدرة	watt	W	$kg.m^2/s^3$	J/s
الضغط	pascal	Pa	$kg/m.s^2$	N/m^2
السرعة		m/s	m/s	
الحجم		m^3	m^3	

تحويلات مفيدة		
1 in = 2.54 cm	1 kg = 6.02×10^{26} u	1 atm = 101 kPa
1 mi = 1.61 km	1 oz $\leftrightarrow$ 28.4 g	1 cal = 4.184 J
	1 kg $\leftrightarrow$ 2.21 lb	1 ev = 1.60×10^{-19} J
1 gal = 3.79 L	1 lb = 4.45 N	1 kwh = 3.60 MJ
1 m ³ = 264 gal	1 atm = 14.7 lb/in ²	1 hp = 746 W
	1 atm = 1.01×10^5 N/m ²	1 mol = 6.022×10^{23}

الجداول

الجداول

ثوابت فيزيائية			
الكمية	الرمز	المقدار	القيمة التقريبية
وحدة كتلة الذرة	u	$1.66053886 \times 10^{-27} \text{ kg}$	$1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$
عدد أفوجادرو	N_A	$6.0221415 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$	$6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
ثابت بولتزمان	k	$1.3806505 \times 10^{-23} \text{ Pa.m}^3/\text{K}$	$1.38 \times 10^{-23} \text{ Pa.m}^3/\text{K}$
ثابت الغاز	R	$8.314472 \text{ Pa.m}^3/\text{mol.K}$	$8.31 \text{ Pa.m}^3/\text{mol.K}$
ثابت الجاذبية	G	$6.6742 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2$	$6.67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2$

البادئات		
البادئة	الرمز	الدلالة العلمية
femto	f	10^{-15}
pico	p	10^{-12}
nano	n	10^{-9}
micro	μ	10^{-6}
milli	m	10^{-3}
centi	c	10^{-2}
deci	d	10^{-1}
deka	da	10^1
hecto	h	10^2
kilo	k	10^3
mega	M	10^6
giga	G	10^9
terra	T	10^{12}
peta	P	10^{15}

الجداول

درجات الانصهار والغليان لبعض المواد		
المادة	درجة الذوبان (°C)	درجة الغليان (°C)
ألومنيوم	660.37	2467
نحاس	1083	2567
جرمانيوم	937.4	2830
ذهب	1064.43	2808
إنديوم	156.61	2080
حديد	1535	2750
رصاص	327.5	1740
سيليكون	1410	2355
فضة	961.93	2212
ماء	0.000	100.000
خارصين	419.58	907

كثافة بعض المواد الشائعة	
المادة	الكثافة (g/cm³)
ألومنيوم	2.702
كاديوم	8.642
نحاس	8.92
جرمانيوم	5.35
ذهب	19.31
هيدروجين	8.99×10^{-5}
إنديوم	7.30
حديد	7.86
رصاص	11.34
زئبق	13.546
أكسجين	1.429×10^{-3}
سيليكون	2.33
فضة	10.5
ماء (4°C)	1.000
خارصين	7.14

الحرارة النوعية لبعض المواد الشائعة			
المادة	الحرارة النوعية (J/kg.K)	المادة	الحرارة النوعية (J/kg.K)
ألومنيوم	897	رصاص	130
نحاس أصفر	376	ميثانول	2450
كربون	710	فضة	235
نحاس	385	بخار	2020
زجاج	840	ماء	4180
جليد	2060	خارصين	388
حديد	450		

الحرارة الكامنة للانصهار والحرارة الكامنة للتبخير لبعض المواد الشائعة		
المادة	الحرارة الكامنة للانصهار (J/kg)	الحرارة الكامنة للتبخير (J/kg)
نحاس	2.05×10^5	5.07×10^6
ذهب	6.30×10^4	1.64×10^6
حديد	2.66×10^5	6.29×10^6
رصاص	2.04×10^4	8.64×10^5
زئبق	1.15×10^4	2.72×10^5
ميثانول	1.09×10^5	8.78×10^5
فضة	1.04×10^5	2.36×10^6
ماء (جليد)	3.34×10^5	2.26×10^6

الجداول

الجداول

سرعة الصوت في أوساط مختلفة	
الوسط	m/s
هواء (0°)	331
هواء (20°)	343
هيليوم (0°)	972
هيدروجين (0°)	1286
ماء (25°)	1493
ماء البحر (0°)	1533
مطاط	1600
نحاس (25°)	3560
حديد (25°)	5130
زجاج التنور	5640
ألماس	12000

الأطوال الموجية للضوء المرئي	
اللون	الطول الموجي (nm) بالنانومتر
الضوء البنفسجي	430–380
الضوء النيلي	450–430
الضوء الأزرق	500–450
الضوء الأزرق الداكن	520–500
الضوء الأخضر	565–520
الضوء الأصفر	590–565
الضوء البرتقالي	625–590
الضوء الأحمر	740–625



أنبوب مفتوح من طرف واحد - بالنسبة للهواء - يكون في حالة رنين مع مصدر الصوت عندما تنعكس موجات المصدر من طرف مغلق بحيث يكون طول العمود مساويا مضاعفات أعداد فردية من ربع الطول الموجي.

أنبوب الرنين المغلق
Closed-pipe resonator

أنبوب مفتوح الطرفين، ويكون في حالة رنين مع مصدر صوت عندما تنعكس موجات المصدر من طرف مفتوح، بحيث يكون طول العمود مساويا مضاعفات أعداد صحيحة من نصف الطول الموجي.

أنبوب الرنين المفتوح
Open-pipe resonator

الفرق بين الطول الموجي الملاحظ للضوء والطول الموجي الأصلي للضوء، والذي يعتمد على السرعة النسبية للملاحظ، أو المراقب، وسرعة مصدر الضوء.

إزاحة دوبلر
Doppler shift

ترددات مرتفعة وهي مضاعفات فردية من التردد الأساسي، وإضافة الإيقاعات معا يعطي الصوت طابعا مميزا.

الإيقاع
Harmonic

معدل اصطدام الضوء بسطح أو معدل الضوء الساقط على وحدة المساحة، وتُقاس بوحدة اللومن لكل متر مربع، lm/m^2 أو لوكس lx.

الاستضاءة
illuminance

الضوء الذي تنذبذب موجاته في مستوى واحد فقط.

الاستقطاب
polarization

انعكاس مضطرب تشتت ناتج عن سطح خشن.

الانعكاس غير المنتظم
Diffuse reflection

انعكاس ناتج عن سطح أملس، بحيث تنعكس الأشعة متوازية عندما تسقط متوازية.

الانعكاس المنتظم
specular reflection

يحدث عندما يسقط الشعاع الضوئي في وسط معامل انكساره كبير إلى وسط معامل انكساره أقل، على أن يصطدم بالحد الفاصل (الحاجز) بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة، مما يؤدي إلى انعكاس الضوء جميعه وارتداده إلى الوسط الذي معامل انكساره أكبر.

الانعكاس الكلي الداخلي
total internal reflection

المصطلحات

التغير في اتجاه الموجة عند الحد الفاصل بين وسطين مختلفين.

الانكسار
refraction

نمط من حزم مضيئة ومعتمة يتكوّن على شاشة، نتيجة التداخل الهدّام والتداخل البناء لموجات الضوء المارة خلال شقين - في حاجز - متقاربين.

أهداب التداخل
fringes interference



وحدة قياس الضغط في النظام الدولي للوحدات SI.

الباسكال
pascal

بعد البؤرة عن سطح المرآة على امتداد المحور الرئيس.

البعد البؤري
focal length

النقطة ذات الإزاحة الكبرى عندما التقاء نبضتي موجة.

بطن الموجة
antinode

أداة توضح الحركة التوافقية البسيطة، ويتكوّن من جسم ثقيل يُسمّى ثقل البندول، يُعلّق بوساطة خيط أو قضيب خفيف، ثم يسحب ثقل البندول إلى أحد الجانبين ويترك ليتأرجح جيئةً وذهاباً.

البندول البسيط
Simple pendulums

النقطة التي تتجمع فيها الأشعة الضوئية الساقطة بصورة موازية للمحور الرئيس بعد أن تنعكس عن المرآة.

البؤرة
focal point

حالة من حالات الموائع، يكون فيها المائع شبه غاز، ويتكون من إلكترونات سالبة الشحنة وأيونات موجبة الشحنة بحيث توصل الكهرباء، ومعظم المواد في الكون مثل النجوم في حالة البلازما.

البلازما
plasma



التغير في تردد الصوت الناتج عن تحرك مصدر الصوت أو الكاشف أو كليهما.

تأثير دوبلر
Doppler effect

نتيجة تراكب موجتين أو أكثر، ويمكن أن يكون التداخل بناءً (إزاحات الموجة في الاتجاه نفسه)، ويمكن أن يكون التداخل هدامًا (اتساعات الموجات متساوية ولكن متعاكسة).

التداخل
interference

المصطلحات

المصطلحات

التأريض Grounding عملية التخلص من الشحنة الكهربائية الفائضة على الجسم بتوصيله بالأرض.

التداخل في الأغشية الرقيقة الظاهرة التي ينتج عنها طيف الألوان بسبب التداخل البناء والتداخل الهدام.

thin-film interference

معدل انبعاث طاقة الضوء من المصدر المضيء.

التدفق الضوئي
Luminous flux

عدد الذبذبات الكاملة التي تحدثها الموجة في الثانية الواحدة، وتُقاس بوحدة الهرتز Hz

التردد
frequency

أقل تردد للصوت الذي يحدث الرنين في الآلات الموسيقية

التردد الأساسي (الأساس)
Fundamental frequency

فصل الضوء الأبيض وتحليله إلى ألوان الطيف باستخدام منشور زجاجي أو قطرات الماء في الغلاف الجوي.

التفريق (التحليل)
dispersion

مقدار الزيادة أو النقصان في حجم الصورة بالنسبة إلى حجم الجسم.

التكبير
magnification

خاصية للمواد في جميع حالاتها، تسبب تمدد المادة فتصبح أقل كثافة عند التسخين.

التمدد الحراري
thermal expansion

ج

مصدر أشعة ضوئية مضيء ذاتيًا أو مُضاء.

الجسم
object

ح

خاصية للصوت تعتمد على تردد الاهتزاز فقط، ونمّيز بوساطتها الأصوات الرفيعة (الحادة) من الأصوات الغليظة.

حدة الصوت
pitch

المصطلحات

الحركة التوافقية البسيطة
simple harmonic motion

الحركة التي تحدث عندما تتناسب القوة المُعيدة (المُرجعة) المؤثرة في جسم طرديًا مع إزاحة الجسم عن وضع الاتزان.

الحركة الدورية
periodic motion

أي حركة تتكرر في دورة منتظمة.

الحيود
diffraction

انحناء الضوء حول حاجز.

خ

خط المجال الكهربائي
Electric field lines

الخطوط التي تكوّن صورة لمجال كهربائي، وتشير إلى شدة المجال الكهربائي من خلال المسافات بينها، وهي لا تتقاطع، كما أنها تخرج دائمًا من الشحنات الموجبة وتدخل إلى الشحنات السالبة.

خطوط الانسياب
streamlines

الخطوط التي تمثل تدفق الموائع حول الأجسام.

د

الديسبل
decible

وحدة قياس مستوى الصوت، يمكن بواسطتها وصف قدرة الموجات الصوتية وشدتها

ذ

الذرة المتعادلة
Neutral

الذرة التي تساوي الشحنة الموجبة لنواتها الشحنة السالبة للإلكترونات التي تدور حول هذه النواة.

المصطلحات

ر

حالة خاصة في الحركة التوافقية البسيطة تحدث عندما تُطبّق قوى صغيرة في فترات منتظمة على متذبذب أو جسم مهتز، مما يؤدي إلى زيادة اتساع الاهتزاز

الرنين
resonance

ز

هي زاوية السقوط التي ينكسر عندها الشعاع على امتداد الحد الفاصل بين الوسيطين.

الزاوية الحرجة
critical angle

مقدار الزمن الذي يحتاج إليه الجسم حتى يكمل دورة واحدة من الحركة.

الزمن الدوري
periode

عيب في المرآة الكروية، بحيث لا يسمح للأشعة الضوئية المتوازية البعيدة عن المحور الرئيس بالتجمع في البؤرة، فتكوّن المرآة نتيجة لذلك صورة مشوشة غير تامة.

الزوغان الكروي
spherical aberration

عيب في العدسات الكروية يؤدي إلى تركيز الضوء المار خلال العدسات في نقاط مختلفة، مما يؤدي إلى ظهور الجسم المرئي خلال العدسة محاطًا بحزم ملونة.

الزوغان اللوني
chromatic aberration

س

موضعان أو أكثر داخل المجال الكهربائي يكون فرق الجهد الكهربائي بينها صفرًا.

سطح تساوي الجهد
Equipotential

النسبة بين الشحنة المُخزّنة على جسم وفرق جهده الكهربائي.

السعة الكهربائية
Capacitance

أقصى مسافة يتحركها الجسم مبتعدًا عن موضع الاتزان.

سعة الاهتزازة
Vibration amplitude

هي الإزاحة القصوى للموجة عن موضع سكونها أو اتزانها.

سعة الموجة
wave amplitude

المصطلحات

ش

نمط ثابت ومنتظم يتشكل عندما تنخفض درجة حرارة السائل، بحيث يقل متوسط الطاقة الحركية لجزيئاته، وبالنسبة لكثير من المواد الصلبة لا يعني التجمد التوقف عن الحركة، وإنما تبقى الجزيئات تتذبذب حول موضع اتزانها. الخط الذي يبين اتجاه الموجة المنتقلة، ويُرسم عمودياً على قمة الموجة.

الشبكة البلورية
crystal lattice

الشعاع
ray

الشحن بالتوصيل
Charging by conduction

عملية شحن جسم متعادل بملامسته لجسم آخر مشحون. عملية شحن جسم متعادل دون ملامسته، وتتم هذه العملية بتقريب جسم مشحون إليه، فيؤدي ذلك إلى فصل شحنات الجسم المتعادل، ليصبح الجسم نفسه مشحوناً بشحنتين مختلفتين ومتساويتين. مقدار الشحنة الكهربائية للإلكترون واحد.

الشحن بالحث
Charging by induction
الشحنة الأساسية (الأولية)
Elementary charge

شحنة موجبة موجودة على جسيم صغير وتستعمل لاختبار المجال؛ بحيث لا تؤثر في الشحنات الأخرى.

شحنة الاختبار
Test charge

ص

تمتص كل من صبغة اللون الأزرق الداكن وصبغة اللون الأحمر المزرقي وصبغة اللون الأصفر لوناً أساسياً واحداً فقط من الضوء الأبيض، وتعكس اللونين الأساسيين الآخرين. كما تُنتج الصبغات الثانوية؛ وهي الحمراء والخضراء والزرقاء، عند مزج هذه الصبغات الأساسية في أزواج.

الصبغة الأساسية
primary pigment

تمتص كل من صبغة اللون الأحمر واللون الأخضر واللون الأزرق لونين أساسيين من الضوء الأبيض وتعكس لوناً أساسياً واحداً، كما تنتج عن مزج صبغتين من الأصباغ التالية: الأزرق الداكن، والأحمر المزرقي، والأصفر.

الصبغة الثانوية
secondary pigment

اتحاد صورة النقاط الناتجة بفعل الأشعة الضوئية المنعكسة عن المرآة.

الصورة
image

المصطلحات

صورة مقلوبة مصغرة أو مكبرة، وتكوّن نتيجة تجمّع الأشعة الضوئية.	الصورة الحقيقية real image
الصورة المتكوّنة من تباعد الأشعة الضوئية، وتكوّن عادة في الجهة المعاكسة للمرآة من الجسم.	الصورة الخيالية virtual image

ض

القوة المؤثرة في سطح ما مقسومة على مساحة ذلك السطح.	الضغط Pressure
الضوء الذي له طول موجي واحد فقط.	الضوء الأحادي اللون monochromatic light
ضوء بمقدمات موجية غير متزامنة تضيء الأجسام بضوء أبيض منتظم، أو هو ضوء يتكوّن من موجات مختلفة في الطور؛ قِمَمُها وقيعانها غير متوافقة.	الضوء غير المترابط incoherent light
ضوء من مصدرين أو أكثر، يولّد تراكبه موجة ذات مقدمات منتظمة، أو هو موجات ضوء تكون في درجات متطابقة في القمم والقيعان.	الضوء المترابط coherent light

ط

عيب في الرؤية، حيث لا يستطيع الشخص المصاب به رؤية الجسم القريب بوضوح؛ بسبب تكوّن الصورة خلف الشبكية، ويمكن تصحيحه بعدسة محدبة.	طول النظر farsightendness
أقصر مسافة بين النقاط التي يعيد نمط الموجة نفسه فيها، كالمسافة بين قمة وقمة، أو المسافة بين قاع وقاع.	الطول الموجي wavelength

ع

شدة الصوت كما تحسّه الأذن ويدركه الدماغ، ويعتمد بشكل رئيس على اتساع موجة الضغط.	علو الصوت loudness
---	-----------------------

المصطلحات

العدسة	lens	قطعة من مادة شفافة، مثل الزجاج أو البلاستيك، تستخدم في تركيز الضوء وتكوين الصور.
العدسة اللاألونية	achromatic lens	تراكب يتكوّن من عدستين أو أكثر مختلفتين في معاملي الانكسار (عدسة مقعرة مع عدسة محدبة مثلاً) والتي تستخدم لتقليل الزوغان اللوني.
العدسة المحدبة	convex lens	عدسة مجمعة، سميكة في وسطها وأقل سمكاً عند أطرافها، تجعل الأشعة المتوازية الساقطة عليها تتجمع في نقطة عندما تكون محاطة بمادة معامل انكسارها أقل من معامل انكسار العدسة، وتكوّن صوراً مصغرة ومقلوبة وحقيقية أو مكبرة ومعتدلة ووهمية.
العدسة المقعرة	concave lens	عدسة مفرقة، وسطها أقل سمكاً من أطرافها، تشتت الضوء الساقط عليها والمار بها عندما يكون معامل انكسار الوسط المحيط بها أقل من معامل انكسارها، وتكوّن صوراً مصغرة وهمية ومعتدلة.
العقدة	node	النقطة الثابتة التي تلتقي فيها نبضتان موجيتان في الموقع نفسه، حيث تصبح الإزاحة الناتجة صفراً.
العمود المقام	normal	الخط الذي يبين اتجاه الحاجز في مخطط الأشعة، ويرسم عمودياً على الحاجز.

ف

فرق الجهد الكهربائي
Electric potential difference

الفولت Volt
وحدة تساوي واحد جول لكل كولوم 1 J/C .

المصطلحات



ينص على أن القوة الكهربائية بين شحنتين تتناسب طرديًا مع حاصل ضرب مقدار الشحنتين وعكسيًا مع مربع المسافة بينهما.

قانون كولوم

Coulomb's law

ينص على أن حاصل ضرب معامل انكسار وسط السقوط في جيب زاوية السقوط يساوي حاصل ضرب معامل انكسار وسط الانكسار في جيب زاوية الانكسار.

قانون سنل في الانكسار

Snell's law of refraction

ينص على أن زاوية انعكاس الشعاع المحصورة بين العمود المقام والشعاع المنعكس تساوي زاوية السقوط المحصورة بين العمود المقام والشعاع الساقط.

قانون الانعكاس

law of reflection

في الغاز المثالي، حاصل ضرب الضغط في الحجم يساوي عدد المولات مضروبة في الثابت R ودرجة الحرارة بالكلفن. وبوساطته يتم توقع سلوك الغازات بشكل جيد إلا في حالات الضغط العالي ودرجة الحرارة المنخفضة.

قانون الغاز المثالي

ideal gas law

ينص على أن شدة الضوء الخارج من مرشح الاستقطاب الثاني تساوي شدة الضوء المستقطب الخارج من مرشح الاستقطاب الأول مضروبًا في مربع جيب تمام الزاوية المحصورة بين محوري الاستقطاب للمرشحين.

قانون مالوس

Malus's law

ينص على أن القوة المؤثرة في نابض تتناسب طرديًا مع مقدار الاستطالة الحادثة فيه.

قانون هوك

Hooke's law

عيب في الرؤية؛ حيث لا يستطيع الشخص المصاب به رؤية الجسم البعيد بوضوح؛ لأن الصورة تتكوّن أمام الشبكية، ويُصحح باستخدام عدسة مقعرة. أدنى نقطة في الموجة.

قصر النظر

nearsightedness

القاع

trough

لكمية ثابتة من غاز مثالي يكون حاصل ضرب الضغط في الحجم مقسومًا على درجة الحرارة بالكلفن يساوي مقدارًا ثابتًا، ويمكن اشتقاق قانون بويل من هذا القانون إذا تم تثبيت درجة الحرارة، كما يمكن اشتقاق قانون شارل منه إذا تم تثبيت الضغط.

القانون العام للغازات

combined gas law

أعلى نقطة في الموجة.

القمة

crest

المصطلحات

قوى تجاذب كهرومغناطيسية تؤثر بها الدقائق المتماثلة بعضها في بعض وهي المسببة للتوتر السطحي واللزوجة.

قوى التماسك
cohesive forces

قوى التجاذب الكهرومغناطيسية، بوساطتها تلتصق مادة بمادة أخرى، وهي المسؤولة عن عمل الأنابيب الشعرية.

قوى الالتصاق
adhesive forces

القوة الرأسية المؤثرة في الجسم المغمور في مائع إلى أعلى.

قوة الطفو
buoyant force



جهاز يستعمل للكشف عن الشحنات الكهربائية، ويتركب من قرص فلزي مثبت على ساق فلزية متصلة بقطعتين فلزيتين خفيفتين رقيقتين، تسميان الورقتين. شحنات كهربائية تتجمع وتحتجز في مكان ما.

الكشاف الكهربائي
Electroscope

وحدة قياس الشحنة الكهربائية حسب النظام الدولي للوحدات SI، وهو يساوي مقدار شحنة إلكترون أو بروتون.

الكهرباء الساكنة
(الكهرسكونية)
Electrostatics

الكولوم
Coulomb



الألوان الأحمر والأخضر والأزرق، التي تكوّن اللون الأبيض عندما تتحد معًا، كما تُنتج الألوان الثانوية، وهي الأصفر، والأزرق الداكن، والأحمر المزرّق، عند مزجها في أزواج.

اللون الأساسي (الأساسي)
primary color

ينتج كلّ من اللون الأصفر واللّون الأزرق الداكن واللّون الأحمر المزرّق عن اتحاد لونين أساسيين.

اللون الثانوي
secondary color

لون الضوء الذي يعطي ضوءًا أبيض عند تراكبه مع ضوء آخر.

اللون المتمم
complementary color

المصطلحات



المادة العازلة Insulator مادة، مثل الزجاج، لا تنتقل خلالها الشحنات بسهولة.

المادة الموصلة Conductor مادة، مثل النحاس، تسمح بانتقال الشحنات خلالها بسهولة.

المجال الكهربائي Electric field المجال الموجود حول أي جسم مشحون؛ حيث يولد قوة كهربائية يمكنها أن تنجز شغلاً، مما يؤدي إلى نقل طاقة من المجال إلى أي جسم آخر مشحون.

المكثف الكهربائي the capacitor جهاز يعمل على تخزين الشحنات الكهربائية.

محزوز الحيود diffraction grating أداة تتكوّن من عدد كبير من الشقوق المفردة المتقاربة جداً. ويؤدي المحزوز إلى حيود الضوء، وتكوين نمط الحيود الذي يتكوّن نتيجة تراكب أنماط حيود الشق المفرد، ويستخدم الحيود في قياس الطول الموجي للضوء بدقة أو لفصل الضوء وفق الأطوال الموجية المختلفة.

معياريه Rayleigh criterion ينصّ على أنه إذا سقطت البقعة المركزية المضيئة للصورة على الحلقة المعتمدة الأولى للصورة الثانية تكون الصور في حدود التحليل (التمييز).

مبدأ التراكب principle of superposition ينصّ على أن إزاحة الوسط الناتجة عن موجتين أو أكثر هي المجموع الجبري لإزاحات الموجات، وهي منفردة.

مبدأ أرخميدس Archimedes principle الجسم المغمور في مائع تؤثر فيه قوة رأسية إلى أعلى تساوي وزن المائع المزاح عن طريق الجسم.

مبدأ باسكال Pascal's principle ينصّ على أن أي تغير في الضغط المؤثر عند أي نقطة في المائع المحصور ينتقل في جميع الاتجاهات داخل المائع بالتساوي.

مبدأ برنولي Bernoulli's principle ينصّ على أن تزايد سرعة المائع يؤدي إلى نقصان ضغطه.

المادة الصلبة غير البلورية amorphous solid مادة لها شكل وحجم محدّدان، ولكن ليس لها تركيب بلوري منتظم.

المصطلحات

المقياس اللوغارتمي الذي يقيس الاتساع، ويعتمد على نسبة تغير الضغط لموجة صوتية معينة إلى تغير الضغط في أضعف الأصوات المسموعة، ويُقاس بوحدة الديسبل dB.

مستوى الصوت
sound level

بالنسبة لوسط ما هو النسبة بين سرعة الضوء في الفراغ إلى سرعة الضوء في ذلك الوسط.

معامل الانكسار
index of refraction

تنصّ على أن مقلوب البعد البؤري لعدسة كروية يساوي مجموع مقلوب كل من بعد الصورة وبعد الجسم.

معادلة العدسة الرقيقة
thin lens equation

حاصل قسمة التغير في الحجم على الحجم الأصلي والتغير في درجة الحرارة. ويعادل ثلاثة أضعاف معامل التمدد الطولي تقريبًا لأن الجسم يتمدد في الأبعاد الثلاثة.

معامل التمدد الحجمي
coefficient of volume expansion

حاصل قسمة التغير في الطول على الطول الأصلي والتغير في درجة الحرارة.

معامل التمدد الطولي
coefficient of linear expansion

الخط الذي يمثل قمة الموجة في بعدين، والذي يبيّن طولها الموجي ولا يبيّن اتساعها عند رسمها ضمن مقياس رسم.

مقدمة الموجة
wave front

خط مستقيم عمودي على سطح المرآة حيث يقسمها إلى نصفين.

المحور الرئيس
principle axis

مرآة تعكس الضوء عن سطحها المقوّس (المنحني) إلى الخارج، وتكوّن صورًا معتدلة ومصغرة ووهمية.

المرآة المحدبة
convex mirror

سطح أملس ناعم يعكس الضوء انعكاسًا منتظمًا، ويكوّن صورة وهمية ومعتدلة لها حجم الجسم نفسه وهيئته، ولها أيضًا البعد نفسه الذي يبعده الجسم عن المرآة.

المرآة المستوية
plane mirror

مرآة تعكس الضوء عن سطحها المقوّس (المنحني) إلى الداخل، وتكوّن صورًا معتدلة وهمية أو مقلوبة وحقيقية.

المرآة المقعرة
concave mirror

جسم، مثل القمر، يظهر مضيئًا نتيجة انعكاس الضوء عنه.

المصدر المستضيء (المضاء)
illuminated source

المصطلحات

جسم يبعث الضوء، كالشمس أو المصباح.	المصدر المضيء luminous source
اضطراب ينقل الطاقة خلال وسط ناقل أو في الفراغ، كما أنه ينقل الطاقة ولا ينقل جزيئات الوسط الناقل.	الموجة wave
موجة ميكانيكية تتحرك إلى أعلى وإلى أسفل بالمعدل نفسه.	الموجة الدورية periodic wave
الموجة التي تصطدم بالحد الفاصل بين وسطين.	الموجة الساقطة incident wave
موجة ميكانيكية تتذبذب عمودياً على اتجاه حركة الموجة.	الموجة المستعرضة transverse wave
موجة ميكانيكية ناتجة عن تحرك دقائق الوسط في كلا الاتجاهين: في اتجاه حركة الموجة نفسه، وفي الاتجاه المتعاكس مع اتجاه حركتها.	الموجة السطحية surface wave
انتقال تغيرات الضغط خلال مادة على شكل موجة طولية، ويحدث لها انعكاس وتداخل، كما أن لها تردداً، وطول موجة، وسرعة، واتساعاً.	الموجة الصوتية sound wave
موجة ميكانيكية ينتقل الاضطراب فيها في اتجاه حركة الموجة نفسه؛ أي موازياً لها.	الموجة الطولية longitudinal wave
الموجة المرتدة الناتجة عن انعكاس بعض طاقة نبضة الموجة الساقطة إلى الخلف.	الموجة المنعكسة reflected wave
الموجة التي تظهر واقفة وساكنة، وتتولد نتيجة تداخل موجتين تتحركان في اتجاهين متعاكسين	الموجة الموقوفة (المستقرة) standing wave
مادة سائلة أو غازية تنساب (تتدفق) وليس لها شكل محدد.	الموائع fluids

المصطلحات



اضطراب ينتقل في الوسط.

نبضة موجية

Wave puls

نمط يتكوّن على الشاشة، ينتج عن التداخل البناء والتداخل الهدّام لموجات هويجنز.

نمط الحيود

diffraction pattern

النموذج الذي يمثّل الضوء بوصفه شعاعًا ينتقل في خط مستقيم، ويتغير اتجاهه فقط عند وضع حاجز في مساره.

نموذج الشعاع الضوئي

ray model of light



الوسط الذي لا يمر الضوء من خلاله ويعكس بعضه.

وسط غير شفاف (معتم)

opaque

الوسط الذي يمر الضوء من خلاله.

الوسط الشفاف

transparent

الوسط الذي يمر الضوء من خلاله ولا يسمح للأجسام أن ترى بوضوح.

الوسط شبه الشفاف

translucent