الوحدة الثالثة

الكهرباء السكونية

الأستاذ

محمد الخواجا

0780539995

الشخص الذي يمكنه أن يكون أي شخص، ويصنع أي شيء سوف يتعرض للنقد والذم وإساءة الفهم، فهذا جزء من ثمن العظمة.

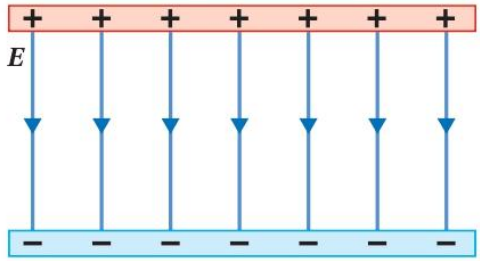
ملاحظات

الدرس 1 المجال الكهربائي
Electric Field

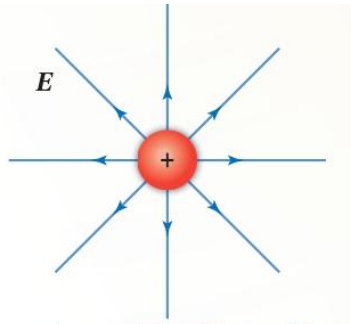
خطوط المجال الكهربائي

يُولّد الجسم المشحون في الحيز المحيط به مجالًا كهربائيًا ؛ يظهر تأثيره على شكل قوة كهربائية تؤثّر في الأجسام المشحونة الأخرى التي تقع ضمن المجال .

للكشف عن المجال الكهربائي ؛ تُستخدم شحنة اختبار صغيرة موجبة ، حيث يؤثر المجال فيها بقوة كهربائية . وبِرسم المسارات التي تسلكها شحنة الاختبار المتحركة تحت تأثير قوة المجال ، يمكن تمثيل المجال الكهربائي بخطوط تُسمى خطوط المجال الكهربائي .



(ب): خطوط المجال في الحيز بين صفيحتين متوازيتين مشحونتين.



(أ): خطوط المجال لشحنة نقطية موجبة.

تُسهم خطوط المجال الكهربائي في معرفة طبيعة المجال المحيط بالجسم المشحون :

الشكل(أ) : يبين خطوط المجال الكهربائي الناتجة عن شحنة نقطية موجبة، حيث تنطلق الخطوط من الشحنة باتجاهات مختلفة ، وتتباعد عن بعضها بزيادة البُعد عن الشحنة ، فيدلُّ ذلك على أن المجال الناشئ عن الشحنة النقطية هو مجال غير منتظم ؛ متغير مقدارًا واتجاهًا .

الشكل(ب) : يوضح خطوط المجال الكهربائي في الحيّز بين صفيحتين موصلتين مشحونتين بشحنتين متساويتين في المقدار ؛ إحداهما موجبة والأخرى سالبة ، وهي خطوط مستقيمة ومتوازية وتشير بالاتجاه نفسه ، فتدلُّ على مجال كهربائي منتظم ؛ ثابت في المقدار والاتجاه عند النقاط جميعها داخله .

ماذا يُحدث الجسم المشحون في الجو المحيط به؟

يُحدث الجسم المشحون في الجو المحيط به مجالًا كهربائيًا يؤثر في الأجسام المشحونة الأخرى الموجودة ضمن المجال.

كيف يمكن الكشف عن المجال الكهربائي؟

يمكن الكشف عن المجال الكهربائي باستخدام شحنة اختبار صغيرة موجبة تتأثر بقوة كهربائية عند وضعها في المجال.

ما المقصود بخطوط المجال الكهربائي؟

هي خطوط وهمية تُرسم لتمثيل اتجاه وشدة القوة الكهربائية المؤثرة على شحنة اختبار موجبة في المجال.

في أي اتجاه تُرسم خطوط المجال الكهربائي؟

تُرسم خارجة من الشحنة الموجبة باتجاه الشحنة السالبة.

ما الفرق بين المجال الكهربائي لشحنة نقطية والمجال الكهربائي بين صفيحتين؟

المجال الناتج عن شحنة نقطية يكون غير منتظم، بينما المجال بين صفيحتين متوازيتين يكون منتظمًا.

ماذا يعني أن المجال الكهربائي منتظم؟

يعني أن مقدار واتجاه المجال ثابتان عند جميع النقاط داخله.

ما هي الفائدة من رسم خطوط المجال الكهربائي؟

تساعد على تصور طبيعة المجال الكهربائي من حيث الاتجاه والشدة ومصدره.

التدفق الكهربائي

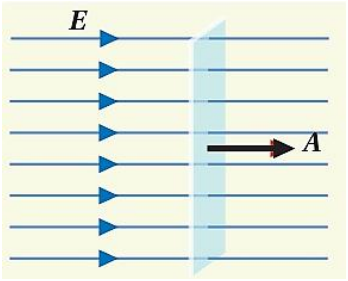
ناتج الضرب النقطي لمتجه المجال الكهربائي (E) في متجه المساحة (A) .

رياضيا :

$$\Phi = \boldsymbol{E}.\boldsymbol{A} = EA\cos\theta$$

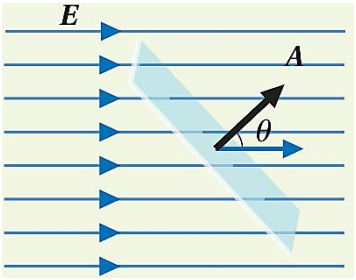
التدفق الكهربائي كمية قياسية ، ووحدة قياسه حسب النظام الدولي للوحدات $(N.m^2/C)$.

متجه المساحة (A) : وهو متجه مقداره يساوي مساحة السطح ، و يكون اتجاهه عموديًا على السطح .



يبين الشكل خطوط مجال كهربائي منتظم مقداره (E)، تخترق سطحًا مستطيلًا مساحته (A)، ومستواه عمودي على المجال .

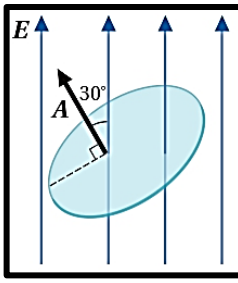
لاحظ أن عدد خطوط المجال لكل وحدة مساحة يتناسب طرديًا مع مقدار المجال ، لذلك ؛ فإن عدد الخطوط الكُلّي التي تخترق السطح يتناسب طرديًا مع ناتج الضرب (EA) ، ويُسمى الناتج بالتدفق الكهربائي .



إذا دار السطح ، كما في الشكل ، ليصبح غير متعامد مع خطوط المجال ، فإنّ عدد الخطوط التي تخترق السطح سوف يقلّ .

ملاحظات

مثال كتاب



أحسب التدفق الكهربائي عبر سطح دائرة نصف قطرها (0.10 m) ، وضعت في مجال كهربائي منتظم مقداره (2.0×10^3 N/C) بحيث يصنع متجه المساحة زاوية (30°) مع المجال، كما يبين الشكل .

ما المقصود بالتدفق الكهربائي؟

هو مقياس لمقدار خطوط المجال الكهربائي التي تمر عبر سطح معين.

متى يكون التدفق الكهربائي أعظم ما يمكن؟

عندما تكون الزاوية ($\theta = 0$) ، أي عندما يكون متجه المجال عموديًا على السطح .

متى يكون التدفق الكهربائي صفرًا؟

عندما تكون الزاوية ($\theta = 90$) ، أي عندما يكون المجال الكهربائي موازيًا للسطح.

ما معنى أن التدفق الكهربائي موجب؟

يعني أن خطوط المجال تخرج من السطح، أي أن المجال يتجه في نفس اتجاه العمود على السطح.

ما معنى أن التدفق الكهربائي سالب؟

يعني أن خطوط المجال تدخل إلى داخل السطح، أي أن اتجاه المجال عكس اتجاه العمود على السطح.

ما يحدث للتدفق الكهربائي إذا زادت شدة المجال إلى الضعف وبقيت الزاوية نفسها؟

يتضاعف التدفق الكهربائي؛ لأنه يتناسب طرديًا مع شدة المجال الكهربائي.

ما أهمية مفهوم التدفق الكهربائي في الفيزياء؟

يساعد على فهم العلاقة بين المجال الكهربائي والشحنات، ويستخدم في تطبيقات قانون غاوس لتحديد شدة المجال حول الأجسام المشحونة.

سطح مستطيل الشكل أبعاده ($5\ cm\ , 8\ cm$) غمر في مجال كهربائي منتظم مقداره ($4 \times 10^3\ N/C$) في كل من الحالات الآتية :

- السطح يوازي خطوط المجال الكهربائي .
- متجه المساحة يوازي خطوط المجال الكهربائي .
- السطح بزاوية (30^o) مع المجال الكهربائي .
- متجه المساحة بزاوية (127^o) مع خطوط المجال الكهربائي .

- $\Phi = 0$
- $\Phi = 16\ N.m^2/C$
- $\Phi = 8\ N.m^2/C$
- $\Phi = 9.6\ N.m^2/C$

ملاحظات

ملاحظات

انتبه :

لتحديد الزاويه نستخدم القاعده الاتيه :

- اذا اعطاك الزاويه بين المجال و (المستوى ، السطح ، المساحه) فاننا نطرح الزاويه من 90 .
- اذا اعطاك الزاويه بين المجال و (متجه المساحه ، العمودي على المساحه) فاننا ناخذ الزاويه كما هي .

ما هي العوامل التي يعتمد عليها التدفق الكهربائي

- مقدار المجال الكهربائي
- مقدار المساحه التي يحدث التدفق عبرها
- جيب تمام الزاويه المحصوره بين متجهي المجال المغناطيسي والمساحه .

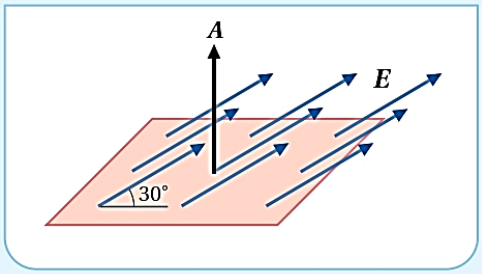
متى يكون التدفق الكهربائي نصف قيمته العظمى

يكون التدفق الكهربائي نصف قيمته العظمى عندما تكون الزاويه بين المجال و متجه المساحه 60^o و عندها تكون الزاويه بين المستوى (المساحة ، السطح) والمجال 30^o .

سطح مساحته A مغمور عموديا على مجال كهربائي منتظم (E) فكان التدفق الكهربائي عبر السطح $120\ N.m^2/C$ ، اوجد التدفق الكهربائي عبر السطح اذا وضع في مجال مغناطيسي مقدار ثلاث اضعاف المجال الاصلي بزاويه 30^o .

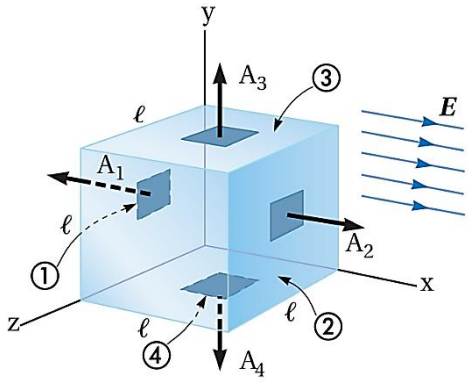
$180\ N.m^2/C$

تمرين



أستخدم الأرقام: مربع طول ضلعه (10 cm) تخترقه خطوط مجال كهربائي منتظم مقداره (240 N/C) ويصنع زاوية (30°) مع سطح المربع، كما يبين الشكل ، أحسب التدفق الكهربائي عبر المربع.

التدفق الكهربائي عبر سطح مغلق



يبين الشكل مُكعبًا موضوعًا في مجال كهربائي منتظم. يُعدُّ المكعب مثالًا على سطح مغلق. ويمكن حساب التدفق عبر أحد أوجه المكعب باستخدام العلاقة ($\Phi = EA\cos\theta$) ؛ وذلك برسم متجه المساحة عموديًا على ذلك السطح نحو الخارج، ثم تحديد الزاوية (θ) بين متجهي المجال والمساحة، ويبين الشكل متجهات المساحة المرسومة على أربعة من أوجه المكعب الستة. ويتضح من الشكل الأمور الآتية:

- تخترق خطوط المجال السطح (2) خارجة منه، والزاوية بين متجهي المجال والمساحة ($\theta = 0°$) ، فيكون التدفق عبرالسطح موجبًا ($E_1 = EAcos0 = EA$) .
- تخترق خطوط المجال السطح (1) داخلة فيه ، والزاوية بين متجهي المجال والمساحة ($\theta = 180°$) ؛ فيكون التدفق عبر السطح سالبًا ($E_2 = EAcos180 = -EA$)
- لا تخترق خطوط المجال السطحين العلوي والسفلي (3، 4) حيث الزاوية ($\theta = 90°$) ، كذلك لا تخترق الخطوط الأسطح الجانبية الموازية للمجال ؛ فيكون التدفق عبر هذه الأسطح يساوي صفرًا .
- التدفق الكُلّي (Φ_{net}) عبر المكعب هو مجموع التدفق عبر سطوح المكعب ويساوي صفرًا ($\Phi_{net} = EA - EA = 0$) .

قاعدة :

التدفق الكهربائي الكلي الناتج عن مجال كهربائي منتظم عبر سطح مغلق موضوع في المجال يساوي صفرًا.

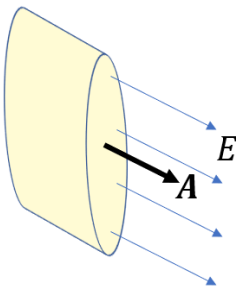
عند رسم متجه المساحة يجب مراعاة الفرق بين حساب التدفق عبر سطح مغلق وحساب التدفق عبر سطح مستوي :

- الأسطح ثلاثية الأبعاد ؛ مثل الكرة أو المكعب هي أسطح مغلقة، يرسم متجه المساحة دائما عموديًّا عليها نحو الخارج ، فإذا كانت خطوط المجال خارجة من السطح يكون التدفق موجبًا ، وإذا كانت خطوط المجال داخلة في السطح يكون التدفق سالبًا .
- عندما تخترق خطوط المجال سطحا مستويًا ؛ مثل المربع أو الدائرة ، فلا توصف خطوط المجال بأنّها داخلة أو خارجة من السطح ، ويرسم متجه المساحة عادةً مع اتجاه خطوط المجال .

فسر : التدفق الكهربائي عبر اي سطح مغلق يساوي صفر .

يكون عدد خطوط المجال الكهربائي التي تدخل سطح المغلق يساوي عدد خطوط المجال المغناطيسي التي تخرج منه .

أسطوانة نصف قطر قاعدتها ($20\ cm$) ، يخترقها مجال كهربائي منتظم ($E = 2.5\ N/C$) عموديا على قاعدتها كما في الشكل المبين . احسب ما يأتي :



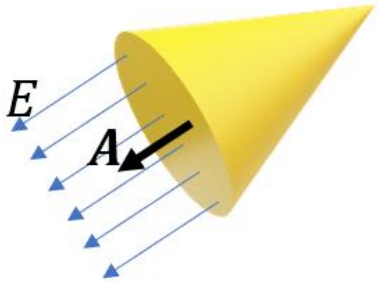
- التدفق المغناطيسي عبر القاعدة الخلفية للاسطوانة .
- التدفق المغناطيسي الكلي عبر الاسطوانة .

- $-0.314\ N.m^2/C$
- $\Phi_{net} = 0$

ملاحظات

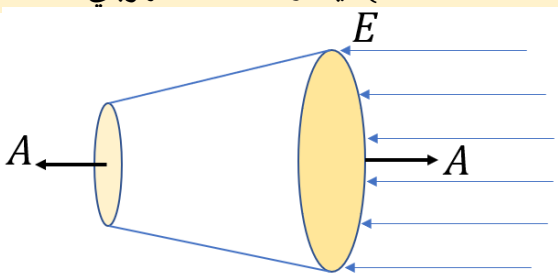
ملاحظات

سطح مغلق على شكل مخروط مساحة قاعدته ($A = 4 \times 10^{-2} m^2$) ، يخترقه مجال كهربائي منتظم مقداره ($E = 250\ N/C$) عموديا على قاعدته وباتجاه خارج من القاعده ، كما هو موضح في الشكل جانبا . احسب التدفق الكهربائي عبر المساحه الجانبيه للمخروط



$-10\ N.m^2/C$

سطح مغلق على شكل جزء من مخروط مساحة قاعدته اليمنى ($A = 4 \times 10^{-2} m^2$) ، و مساحة قاعدته اليسرى ($A = 1 \times 10^{-2} m^2$) يخترقه مجال كهربائي منتظم مقداره ($E = 2.4\ N/C$) عموديا على قاعدته وبالاتجاه الموضح في الشكل جانبا . احسب التدفق الكهربائي عبر المساحه الجانبيه .



$7.2\ \ N.m^2/C$

قانون غاوس

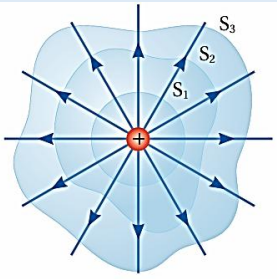
- يوضح قانون غاوس العلاقة بين التدفق الكهربائي الكُلّي عبر سطح مغلق، والشحنة الكهربائية المحتواة داخله .

ينصُّ قانون غاوس على أن : التدفق الكهربائي عبر سطح مغلق يساوي الشحنة الكلية داخل السطح مقسومةً على السماحية الكهربائية للهواء (الوسط المحيط بالشحنة).

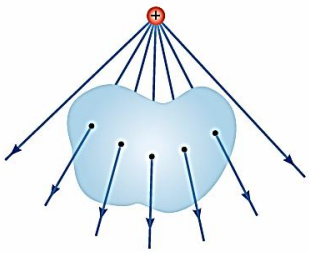
$$\Phi = \frac{q_{in}}{\varepsilon_o}$$

انتبه :

التدفق الكهربائي الكُلّي عبر سطح مغلق، لا يعتمد على شكل السطح .



(أ): التدفق عبر سطح مغلق يعتمد على الشحنة الكلية داخل السطح، ولا يعتمد على شكل السطح.



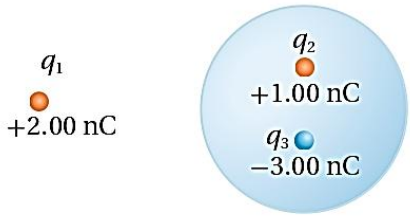
(ب): الشحنة المولّدة للمجال تقع خارج السطح فيكون عدد الخطوط الداخلة إلى السطح مساويًا عدد الخطوط الخارجة منه.

من الشكل (أ) : إذا افترضنا أن ثلاثة أسطح مختلفة (S_1, S_2, S_3) تحيط بشحنة نقطية (q)، كما يبين الشكل ؛ فإن التدفق الكُلّي يكون متساويًا عبر الأسطح الثلاثة؛ لأن عدد الخطوط الكُلّي التي تخترق كُلًّا من الأسطح الثلاثة يكون متساويًا.

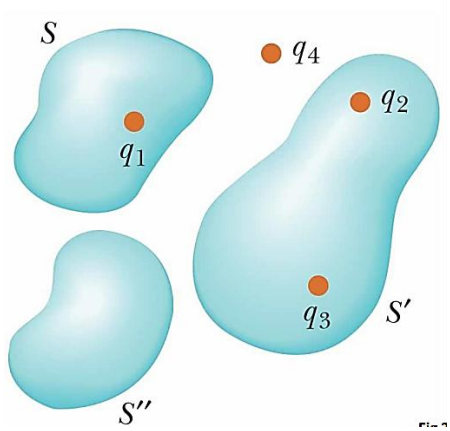
من الشكل (ب) : التدفق الكهربائي عبر السطح المغلق المبين في الشكل ، فيساوي صفرًا؛ لأن الشحنة المُسبّبة للمجال تقع خارج السطح، وعدد الخطوط الداخلة إلى السطح يساوي عدد الخطوط الخارجة منه.

مثال كتاب

ثلاث شحنات نقطية موضوعة في الهواء، كما يبين الشكل ، معتمدًا على البيانات المثبتة في الشكل؛ أحسب التدفق الكهربائي عبر السطح الكروي، علمًا أن ($\varepsilon_o = 8.85 \times 10^{-12} C^2/N.m^2$).



ثلاثه اسطح مغلقه كما هو مبين في الشكل ، فاذا كانت الشحنات $q_1 = 3\mu c$ ، $q_2 = -3\mu c$ ، $q_3 = 1\mu c$ ، $q_4 = -2\mu c$ موزعه عشوائيا كما هو موضح . اوجد التدفق المغناطيسي الكهربائي عبر كل سطح من الاسطح ($S , \grave{S} , \acute{S}$) .



$\Phi_S = 3.39 \times 10^5 N.m^2/C$

$\Phi_{\acute{S}} = -2.26 \times 10^5 N.m^2/C$

$\Phi_{\acute{\acute{S}}} = 0$

سطح غاوس كروي الشكل يحيط بشحنة نقطية (q)، موضوعة عند مركز السطح. أوضح ما يحدث للتدفق الكهربائي في الحالات الآتية:

أ . إزاحة الشحنة عن المركز مع بقائها داخل السطح.

ب. مضاعفة الشحنة داخل السطح ثلاث مرات.

جـ.مضاعفة نصف قطر السطح الكرويّ المحيط بالشحنة (q) مرتين.

د . استخدام مكعب يحيط بالشحنة(q) بدلًا من السطح الكروي.

أ. لا يتغير ، لان الشحنه الكليه داخل السطح لم تتغير .

ب. يتضاعف التدفق ثلاث مرات .

جـ. لا يتغير ، لان التدفق الكلي لا يعتمد على مساحه السطح .

د. لا يتغير ، لان التدفق الكلي لا يعتمد على شكل السطح .

ملاحظات

المجالات الكهربائية لتوزيعات متصلة من الشحنات

من التطبيقات المهمة لقانون غاوس، استخدامه في حساب المجالات الكهربائية الناشئة عن توزيعات مُتّصلة من الشحنات الكهربائية، ومن الأمثلة على توزيع متصل من الشحنات؛ الموصل الكروي المشحون .

عندشحن جسم موصل؛ فإن الشحنات تتباعد عن بعضها بعضًا بسبب تنافُرها وتستقر على السطح الخارجي للموصل. ويمثل ناتج قسمة شحنة الموصل (Q) على مساحة سطحه (A)، ما يعرف بالكثافة السطحية للشحنة .

الكثافة السطحية للشحنة : كمية الشحنة لكل وحدة مساحة .

رياضيا :

$$\sigma = \frac{Q}{A}$$

ستقتصر دراستنا على حساب المجالات الكهربائية للتوزيعات الآتية :

- موصل كرويٌّ مشحون .
- قشرة رقيقة مشحونة .
- صفيحتان متوازيتان مشحونتان بشحنتين مختلفتين في النوع ومتساويتين في المقدار .

لماذا تتوزّع الشحنات على السطح الخارجي للموصل المشحون، ولا تستقر في الداخل؟

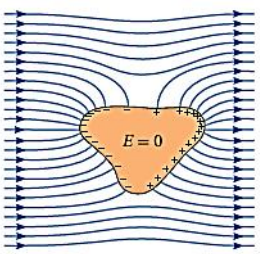
بسبب قوة التنافر الكهربائية بين الشحنات، حيث تتباعد الشحنات عن بعضها الى أكبر مسافة ممكنة وتستقر على السطح الخارجي.

الربطُ بالتكنولوجيا

قفص فاراداي؛ عبارةٌ عن وعاء أو جسم موصل يمنع المجال الكهربائي من اختراقه. سُمِّيَ قفص فارادي نسبة إلى العالم مايكل فارادي الذي ابتكر هذا القفص لأول مرة في عام 1836م.

وتتمثل آلية عمله في أن المجال الكهربائي الخارجيّ يتسبب في شحن القفص الفلزّي بالحث، كما هو مبين في الشكل، فينشأ داخله مجال كهربائي مساوٍ للمجال الخارجي ومعاكس له في الاتجاه؛ فيكون المجال المحصل داخل القفص صفرًا.

من التطبيقات العملية على قفص فارداي؛ حماية الأجهزة الإلكترونية من المجالات الكهرمغناطيسية عن طريق تغليفها بمادة موصلة، كذلك؛ فإن هيكل السيارة أو الطائرة هو قفص فارادي يوفر الحماية لمن بداخلها في أثناء تعرُّضها إلى صاعقة برق.



ملاحظات

ما المقصود بكثافة الشحنة السطحية؟

أ. كمية الشحنة الكلية على سطح الموصل

ب. الشحنة الكلية لكل وحدة حجم

ج. الشحنة الكلية لكل وحدة مساحة من السطح

د. معدل تغير الشحنة مع الزمن

وحدة قياس كثافة الشحنة السطحية هي:

أ. كولوم/متر

ب. كولوم/متر^2

ج. كولوم/متر^3

د. فولت/متر

إذا زادت الشحنة الكلية على سطح موصل وبقيت المساحة كما هي، فإن كثافة الشحنة السطحية:

أ. تقل

ب. تزداد

ج. تبقى ثابتة

د. تساوي صفرًا

على أي جزء من الموصل المنتظم تكون كثافة الشحنة السطحية أكبر؟

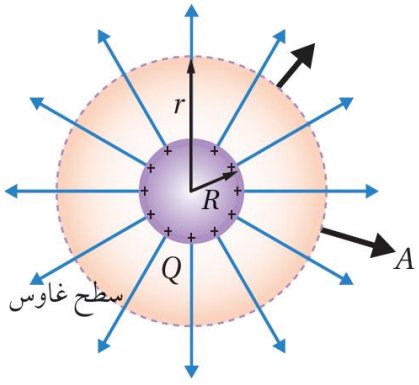
أ. عند السطوح المسطحة

ب. عند الحواف والنهايات المدببة

ج. في المركز

د. لا تعتمد على الشكل

المجال الكهربائي لكرة موصلة مشحونة



يبين الشكل كرةً موصلةً نصف قطرها (R)، تتوزع على سطحها الخارجي شحنة (Q) بشكل منتظم. ولحساب المجال الكهربائي عند نقطة خارج الكرة وعلى بعد $(r > R)$ من مركزها؛ نتبع الخطوات الآتية:

- نرسم سطح غاوس، وهو سطح كرويّ وهمي مغلق يحيط بالكرة، نصف قطره (r) ، بحيث يكون مركز السطح هو مركز الكرة الموصلة نفسه. ونلاحظ أن مقدار المجال (E) متساوٍ عند النقاط الواقعة على سطح غاوس جميعها.
- نرسم متجه المساحة عند أي نقطة على السطح؛ فيكون متجه المساحة في هذه الحالة موازيًا للمجال عند النقاط الواقعة على السطح جميعها $(\theta = 0°)$، ويكون التدفق الكُلّي عبر السطح:

ملاحظات

$$\Phi = EA$$

حيث مساحة سطح غاوس ($A = 4\pi r^2$) .

- بتطبيق قانون غاوس؛ فإن التدفق عبر السطح $\Phi = \frac{q_{in}}{\varepsilon_o}$ بذلك نُعبّر عن التدفق بالصورة الآتية:

$$EA = \frac{q_{in}}{\varepsilon_o}$$

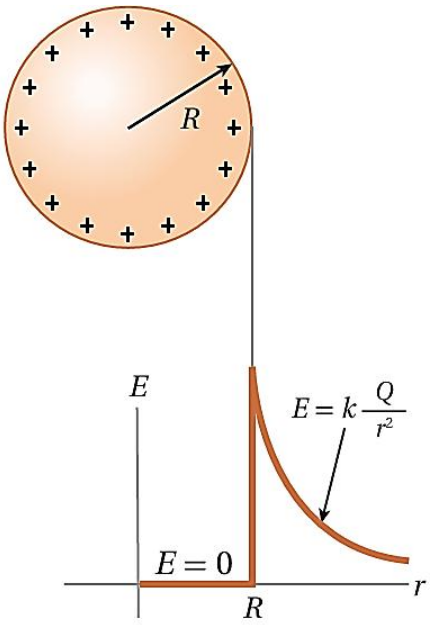
$$E(4\pi r^2) = \frac{q_{in}}{\varepsilon_o}$$

- نعوض شحنة الكرة على أنها الشحنة داخل سطح غاوس ($q_{in} = Q$) فنتوصل إلى أن المجال الكهربائي :

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o} \times \frac{Q}{r^2}$$

يمكن التعبير عن الثوابت بالرمز ($k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}$) حيث ($k = 9 \times 10^9 N.m^2/C^2$) وبذلك يمكن التعبير عن المجال الكهربائي بالصورة الآتية:

$$E = k\frac{Q}{r^2}$$



تُستخدم هذه العلاقة لحساب المجال الكهربائي عند نقطة تقع خارج الكرة الموصلة المشحونة، أو عند نقطة قريبة جدًا من سطح الكرة.

توضح العلاقة أن المجال خارج الكرة يُماثل مجال الشحنة النقطية (الذي درسته سابقا). أما المجال داخل الكرة فيساوي صفرًا، ويبين الشكل تمثيلًا بيانيًا للعلاقة بين المجال الكهربائي والبعد عن مركز الكرة .

أُفكّر: أثبت باستخدام قانون غاوس أن «المجال الكهربائي داخل الموصل الكروي المشحون يساوي صفرًا».

ملاحظات

مثال كتاب

كرة موصلة معزولة نصف قطرها (R) موضوعة في الهواء، مشحونة بشحنة كهربائية موجبة موزعة على سطحها بانتظام بكثافة سطحية (σ).

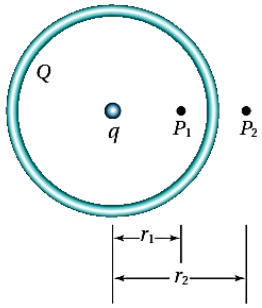
أ . أثبت أن المجال الكهربائي عند نقطة خارج الكرة وعلى بعد (r) من مركزها يعطى بالعلاقة الآتية :

$$E = \frac{\sigma R^2}{\varepsilon_o r^2}$$

ب . إذا كانت الكثافة السطحية للشحنة ($3.1 \times 10^{-7}\ C/m^2$)، ونصف قطر الكرة ($0.2\ m$)، فما مقدار المجال الكهربائي عند نقطة خارج سطح الكرة وقريبة جدًا منه؟

مثال كتاب

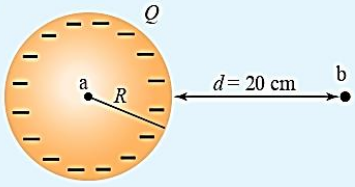
كرة بلاستيكية مُجوّفة؛ نصف قطرها ($10\ cm$)، مشحونة بشحنة سالبة ($Q = -16e$) موزعة على سطحها بانتظام. وُضع عند مركزها شحنة نقطية ($q = +5e$). ما مقدار المجال واتجاهه عند النقطتين (P_1) و (P_2) المُبيّنتين في الشكل؟ حيث ($r_1 = 6.0\ cm$) ، ($r_2 = 12.0\ cm$).



تمرين

أستخدم الارقام: يوضّح الشكل كرة نحاسية نصف قطرها ($10\ cm$)، موضوعة في الهواء ومشحونة بشحنة سالبة ($-12\ \mu C$).

مستعينًا بالشكل؛ أجد المجال الكهربائيّ عند كل من النقطتين (b,a).



ما المقصود بالموصل الكروي المشحون؟

هو جسم كروي مصنوع من مادة موصلة للكهرباء (مثل النحاس أو الألومنيوم)، تُوزَّع فيه الشحنة الكهربائية على سطحه الخارجي فقط عندما يكون في حالة توازن كهربائي.

أين تتركز الشحنة في الموصل الكروي؟

تتركز الشحنة بالكامل على السطح الخارجي للموصل الكروي، ولا توجد أي شحنة داخل المادة نفسها.

ما قيمة المجال الكهربائي داخل موصل كروي مشحون؟

المجال الكهربائي داخل الموصل الكروي يساوي **صفرًا** ($E = 0$) وذلك لأن الشحنات تتوزع بحيث تلغي المجال داخل الموصل.

ملاحظات

ما شكل خطوط المجال الكهربائي خارج موصل كروي مشحون؟

تكون خطوط المجال **شعاعية**، أي تخرج من المركز باتجاه الخارج إذا كانت الشحنة موجبة، وتدخل نحو المركز إذا كانت الشحنة سالبة.

هل يمكن اعتبار الموصل الكروي المشحون وكأنه شحنة نقطية؟

نعم، **خارج الموصل** يمكن اعتباره شحنة نقطية مركزة في مركزه، لأن المجال يعتمد فقط على المسافة من المركز.

إذا كان نصف قطر موصل كروي $R = 0.1m$ وشحنته $Q = 2 \times 10^{-6}\ C$، فما شدة المجال عند سطحه؟

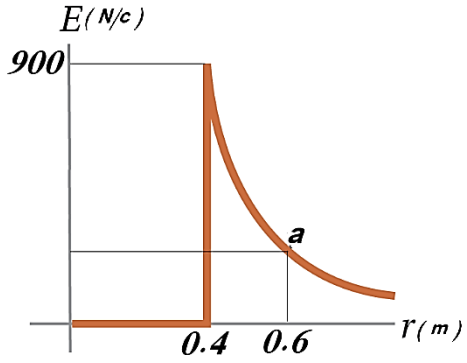
$E = 1.8 \times 10^{6}\ N/C$

موصل كروي نصف قطره $R = 0.05\ m$ مشحون بشحنة $Q = 1 \times 10^{-6} C$.
احسب شدة المجال الكهربائي على سطحه. ما شدة المجال الكهربائي على بعد $r = 0.1m$ من مركز نفس الكرة

$E = 3.6 \times 10^{6}\ N/C$
$E = 9 \times 10^{6}\ N/C$

يبين الشكل البياني المجاور العلاقة بين المجال الكهربائي الناتج عن موصل كروي مشحون وبعد النقطة عن مركز الموصل الكروي ، احسب ما يأتي :

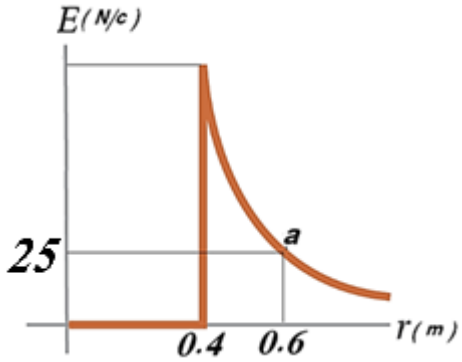
- الشحنة على سطح الموصل الكروي .
- المجال الكهربائي عند النقطة (a) التي تبعد (**6 cm**) عن مركز الموصل .



$Q = 1.6 \times 10^{-8} C$
$E = 400\ N/C$

يبين الشكل البياني المجاور العلاقة بين المجال الكهربائي الناتج عن موصل كروي مشحون وبعد النقطة عن مركز الموصل الكروي ، احسب ما يأتي :

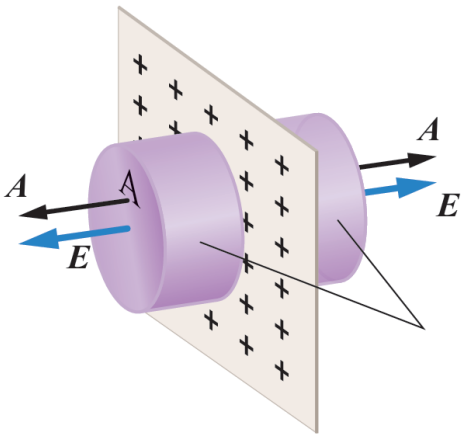
- الشحنة على سطح الموصل الكروي .
- المجال الكهربائي عند نقطة تبعد (**4 cm**) عن مركز الموصل .



$Q = 1 \times 10^{-9} C$
$E = 56.25\ N/C$

ملاحظات

المجال الكهربائي لشحنة موزعة على قشرة مستوية لا نهائية الأبعاد



يبين الشكل مقطعًا من قشرة رقيقة مستوية لا نهائية الأبعاد، القشرة مشحونة بشحنة موجبة تتوزع على سطحها بكثافة سطحية منتظمة (σ)، ويبين الشكل أن خطوط المجال الكهربائي عمودية على سطح القشرة، كما يبين الشكل أن اتجاه المجال على أحد جانبي القشرة عكس اتجاهه على الجانب الآخر .

- باستخدام قانون غاوس؛ يمكن حساب المجال الكهربائي الناتج عن القشرة، باتباع الخطوات الآتية:
- نختار جزءًا من القشرة مساحته (A)، ونرسم سطح غاوس الذي يحيط بهذا الجزء على شكل اسطوانة مساحة كل من قاعدتيها (A).
- نرسم متجه المساحة عموديًا على قاعدتي الاسطوانة، فيكون المتجه (A) موازيًا للمجال ($\theta = 0°$) على جانبي القشرة، أما السطح الجانبي للاسطوانة فلا تخترقه خطوط المجال.
- نطبق قانون غاوس لحساب التدفق الكُلّي عبر سطح غاوس:

$$E\ (2A) = \frac{q_{in}}{\varepsilon_o}$$

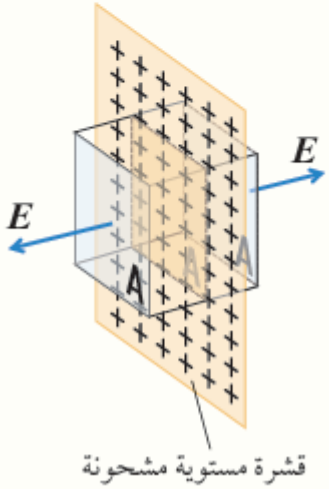
حيث يمثل (2A) مجموع مساحتي وجهي الاسطوانة.

- نعوض الشحنة داخل سطح غاوس ($q_{in} = \sigma A$)؛ فنتوصل إلى أن المجال الكهربائي:

$$E = \frac{\sigma}{2\ \varepsilon_o}$$

تستخدم لحساب مقدار المجال الكهربائي سواء كانت شحنة القشرة موجبة أو سالبة. حيث تعوض الكثافة السطحية للشحنة بدون الإشارة.

أفكر: هل يمكن التوصّل إلى حساب المجال الكهربائيّ الناتج عن قشرة مشحونة لانهائية الأبعاد؛ بافتراض سطح غاوس الوهمي، على شكل مكعّب مساحة وجهه (A)، كما في الشكل. أُوضّح إجابتي.



ملاحظات

تستخدم لحساب مقدار المجال الكهربائي سواء كانت شحنة القشرة موجبة أو سالبة. حيث تعوض الكثافة السطحية للشحنة بدون الإشارة.

انتبه :

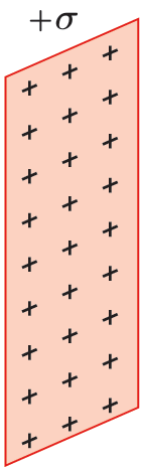
توضح هذه العلاقة أن المجال الكهربائي للقشرة اللانهائية الأبعاد مجالٌ منتظم لا يعتمد على بعد النقطة التي يُقاس عندها المجال عن القشرة.

أصف خطوط المجال الكهربائي الناشئ عن قشرة رقيقة مستوية لا نهائية الأبعاد مشحونة بشحنة موجبة.

خطوط المجال مستقيمة ومتوازية، وعمودية على سطح القشرة، واتجاه الخطوط على أحد جانبي القشرة عكس اتجاه الخطوط على الجانب الآخر.

مثال كتاب

كرة صغيرة مشحونة، كتلتها (10.0 g) وشحنتها (0.700 μC)، تستقر ساكنة فوق قشرة رقيقة مستوية لا نهائية الأبعاد مشحونة بشحنة موجبة تتوزع على سطحها بانتظام، أحسب الكثافة السطحية للشحنة الموزعة على سطح القشرة ($g = 10.0\ m/s^2$).



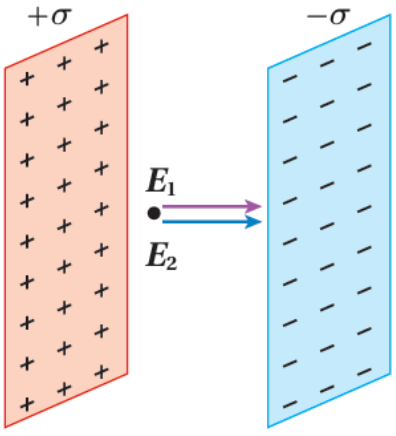
يبين الشكل مقطعًا من قشرة رقيقة مستوية لا نهائية الأبعاد، القشرة مشحونة بشحنة موجبة تتوزع على سطحها بكثافة سطحية منتظمة ($\sigma = 1.77 \times 10^{-9} C/m^2$)، احسب المجال الكهربائي على يمين الصفيحة على بعد ($20\ cm$) .

$E = 1 \times 10^3 N/c$

قشرة رقيقة مستوية لا نهائية الأبعاد، القشرة مشحونة بشحنة موجبة ($Q = 1.6 \times 10^{-8} C$) في كل ($20\ cm^2$) و تتوزع على سطحها بكثافة سطحية منتظمة ، أوجد المجال الكهربائي الناتج عن القشرة المستوية في أحد وجهيها .

$E = 4.52 \times 10^5 N/c$

المجال الكهربائي المنتظم



يمكن الحصول على مجال كهربائي منتظم بوضع صفيحتين موصلتين متماثلتين متوازيتين ومتقابلتين، وتفصل بينهما مسافة قصيرة مقارنة بأبعادهما، كما يبين الشكل ، ثم شحنهما بشحنتين مختلفتين نوعًا، متساويتين مقدارًا.

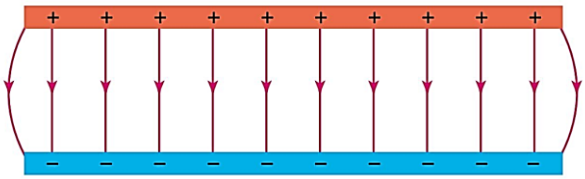
يمكن حساب المجال الكهربائي في المنطقة الواقعة بين الصفيحتين، بافتراض أن كل صفيحة قشرة رقيقة؛ فيكون المجال الناشئ عن الصفيحة الموجبة (E_1)، والمجال الناشئ عن الصفيحة السالبة (E_2)، ويكون المجال المحصل (E) مساويًا لناتج جمع المجالين؛ لأنهما بالاتجاه نفسه.

ملاحظات

$$E = E_1 + E_2 = \frac{\sigma}{2\,\varepsilon_o} + \frac{\sigma}{2\,\varepsilon_o} = \frac{\sigma}{\varepsilon_o}$$

حيث (σ) مقدار الكثافة السطحية للشحنة على الصفيحة الواحدة.

وضح كيف ينشأ المجال الكهربائي المنتظم ؟



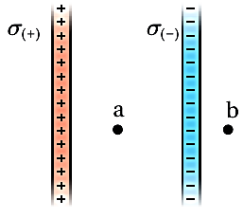
عند شحن صفيحتين موصلتين متوازيتين إحداهما بشحنة موجبة والأخرى بشحنة سالبة ، فإن الشحنة تتوزع على سطحها بانتظام ، فينشأ مجال كهربائي منتظم في الحيز بين الصفيحتين وبعيدا عن الأطراف .

ما هي العوامل التي تعتمد عليها مقدار المجال الكهربائي المنتظم :

- كثافة الشحنة السطحية على كل من الصفيحتين .
- السماحية الكهربائية للوسط الفاصل بين الصفيحتين .

مثال كتاب

يبين الشكل صفيحتان موصلتان مشحونتان بشحنتين كهربائيتين؛ إحداهما موجبة والأخرى سالبة، موزعة عليهما بانتظام؛ بكثافة سطحية ($\sigma = 3.54 \times 10^{-7}\ C/m^2$)، إذا كانت أبعاد الصفيحتين كبيرةً بالنسبة للمسافة الفاصلة بينهما، أجدُ المجال الكهربائي عند كل من النقطتين (a)، و (b).



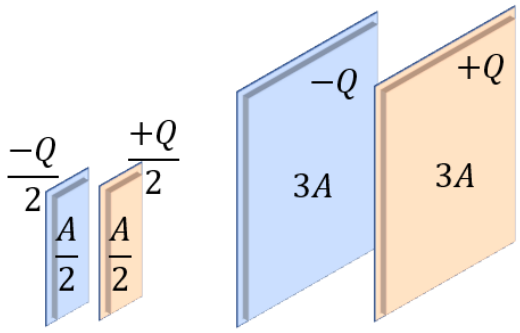
صفيحتان موصلتان متوازيتان مساحة كل منهما ($1 \times 10^{-2} m^2$) ، شحنت إحداهما بشحنة موجبه والأخرى بسحنة سالبة ، وكانت الشحنة الكهربائية على كل صفيحة ($1.77 \times 10^2 c$) ، إذا علمت أن السماحية الكهربائية للفراغ ($8{,}85 \times 10^{-12} c^2/N.m^2$) . فاحسب مقدار :

- المجال الكهربائي في الحيز بين الصفيحتين .
- المجال الكهربائي بين الصفيحتين عندما تصبح الشحنة الكهربائية ضعفي ما كانت عليه على كل من الصفيحتين ، مع بقاء مساحة كل من الصفيحتين ثابتة .

- $E = 2 \times 10^4 N/c$
- عندما تصبح الشحنة ضعفي ما كانت عليه مع بقاء المساحة ثابتة تصبح (σ) ضعفي قيمتها ، وبما أن المجال الكهربائي (E) يتناسب طرديا مع مع كثافة الشحنة السطحية ، فإن المجال الكهربائي يتضاعف ليصبح ضعفي ما كان عليه ، فيصبح $E = 4 \times 10^4 N/c$

ملاحظات

معتمدا على البيانات المثبتة في الشكل ، حدد في أي الحالتين يكون مقدار المجال الكهربائي في الحيز بين الصفيحتين أكبر ؟ فسر إجابتك .



المجال الكهربائي في الحيز بين الصفيحتين على اليمين :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_o} = \frac{Q}{3A\,\varepsilon_o}$$

المجال الكهربائي في الحيز بين الصفيحتين على اليسار :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_o} = \frac{Q}{A\,\varepsilon_o}$$

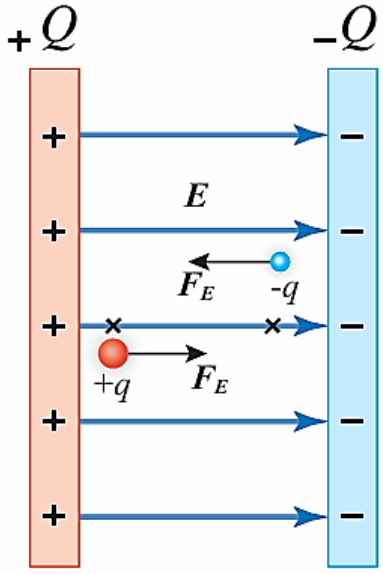
فيكون المجال الناتج عن الصفيحتين على اليسار أكبر من المجال الناتج عن الصفيحتين على اليمين .

ينشأ مجال كهربائي منتظم في الحيز بين صفيحتين موصلتين متوازيتين مشحونتين بشحنتين متساويتين في المقدار ومختلفتين في النوع . فإذا أصبحت مساحة الصفيحتين ضعفي ما كانت عليه وقلت الشحنة إلى النصف ، فإن المجال الكهربائي :

* يقل إلى النصف
* يتضاعف مرتين
* يقل إلى الربع
* يتضاعف أربع مرات

يقل إلى الربع

القوة الكهربائية المؤثرة في جسيم يوضع في المجال الكهربائي المنتظم :



عندما يوضع جسيم مشحون في مجال كهربائي منتظم؛ فإن المجال يؤثر في الجسيم المشحون بقوة ثابتة في المقدار والاتجاه أينما كان موقعه داخل المجال، ويكون اتجاه القوة المؤثرة في جسيم موجب الشحنة يكون باتجاه المجال، ويكون بعكس اتجاه المجال للجسيم سالب الشحنة. وتعطى القوة الكهربائية (F_E) بالعلاقة الآتية:

$$F_E = E\,q$$

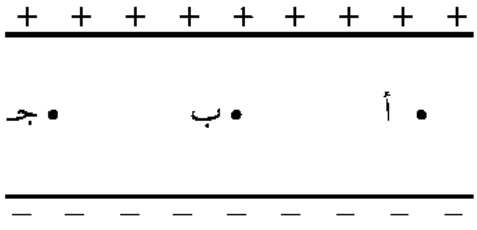
حيث: (q)مقدار شحنة الجسيم المشحون ، (E) مقدار المجال الكهربائي المنتظم.

ملاحظات

ثلاثة جسيمات مشحونة ، ومتساوية في الكتلة ، أدخلت ساكنة إلى مجال كهربائي منتظم اتجاهه كما هو مبين في الشكل . فلوحظ أن :

الجسيم (أ) تحرك إلى الأعلى .
الجسيم (ب) تحرك إلى الأسفل .
الجسيم (ج) اتزن ساكنا .

هل يمكن أن نحدد نوع الشحنة على كل جسيم بالاعتماد على هذه المعلومات ؟



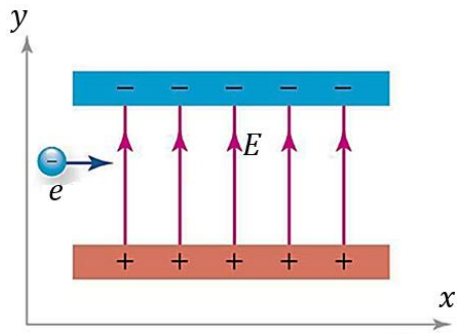
$Q_{أ}$ → سالبة

$Q_{ب}$ → لايمكن التحديد

$Q_{ج}$ → سالبة

عندما يدخل إلكترون متحركا بالاتجاه السيني الموجب إلى منطقة مجال كهربائي منتظم ، كما يبين الشكل ، فإن هذا الإلكترون يكتسب تسارعا بالاتجاه

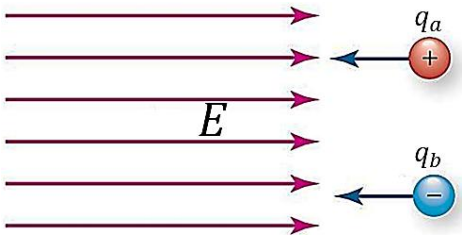
* الصادي الموجب * الصادي السالب
* السيني الموجب * السيني السالب



الصادي السالب

عند دخول الجسيمات المشحونة إلى مجال كهربائي فإنا تتأثر بقوة كهربائية ، ويبين الشكل اتجاه الحركة لجسمين (a) موجب الشحنة و (b) سالب الشحنة قبل دخولهما إلى مجال كهربائي منتظم . وضح لكل جسيم :

- اتجاه القوة الكهربائية المؤثرة فيه أثناء حركته في المجال الكهربائي .
- أثر القوة الكهربائية في مقدار سرعة الجسيم .

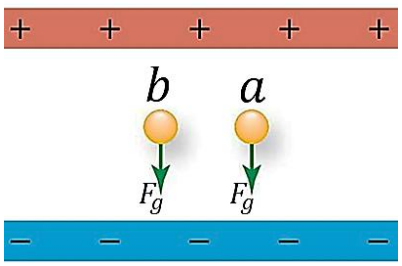


q_a تتأثر بقوة كهربائية نحو اليمين ، q_b تتأثر بقوة كهربائية نحو اليسار .

q_a تقل سرعتها مع الزمن ، q_b تزداد سرعتها مع الزمن .

جسيمان (a) و (b) مشحونان ومتساويتان في الوزن ، وضعا ساكنين في مجال كهربائي منتظم كما يبين الشكل ، ولوحظ أن الجسيم (a) بقي ساكنا ، بينما تحرك الجسيم (b) باتجاه محور الصادات الموجب . أجب عما يأتي :

- ما نوع شحنة كل من الجسيمين ؟
- كيف تفسر اختلاف الحالة الحركية للجسمين (a) و (b) بالرغم من أنهما متساويان في الوزن ؟

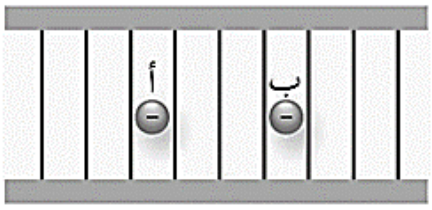


ملاحظات

- كلاهما سالبان . حيث يتأثران بقوة كهربائية نحو الأعلى .
- الجسيم (a) تؤثر فيه قوة كهربائية مساوية لقوة الوزن وتعاكسها في الاتجاه ، أما الجسيم (b) فإن القوة الكهربائية أكبر من قوة وزنه . لنستدل على أن $(q_a < q_b)$.

تدريب ذاتي :

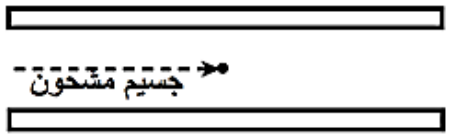
اتزن جسيم (أ) شحنته ($-q$) وكتلته (m) في مجال كهربائي منتظم كما هو مبين بالشكل ، ادرس الشكل ، ثم اجب عن الأسئلة الآتية :



1) حدد نوع الشحنة على كل من الصفيحتين .
2) إذا أدخل جسيم (ب) شحنته ($-q$) وكتلته ($2m$) في المجال الكهربائي نفسه ، فهل يتزن ؟ فسر إجابتك .
3) إذا زادت الشحنة الكهربائية على الصفيحتين ، فهل يبقى الجسيم (أ) محافظا على اتزانه ؟ فسر إجابتك

تدريب ذاتي :

جسيم مشحون كتلته ($4 \times 10^{-9} Kg$) وشحنته ($+3,2 \times 10^{-19} C$) ، اتزن في أكبر بين صفيحتين متوازيتين مشحونتين بشحنتين متساويتين في المقدار ، إحداهما موجبة والأخرى سالبة كما يبين الشكل .



1. ما نوع الشحنة الكهربائية على كل صفيحة ؟
2. احسب مقدار الكثافة السطحية للشحنة على كل صفيحة .
3. إذا عكست الصفيحتان ؛ احسب مقدار القوة المحصلة المؤثرة في الجسيم .

حركة جسيم مشحون في مجال كهربائي منتظم

بافتراض أن وزن الجسيم مهمل مقارنةً بالقوة الكهربائية؛ فإن القوة الكهربائية (F_E) تمثل القوة المحصلة ($\sum F$) المؤثرة في الجسيم المشحون، وبتطبيق القانون الثاني لنيوتن ($\sum F = ma$) ؛ فإن القوة الكهربائية ستُكسب الجسيم المشحون، وكتلته (m)، تسارعًا ثابتًا يعطى بالعلاقة:

$$a = \frac{F_E}{m} = \frac{Eq}{m}$$

انتبه : دائما يكون اتجاه التسارع باتجاه القوة الكهربائية .

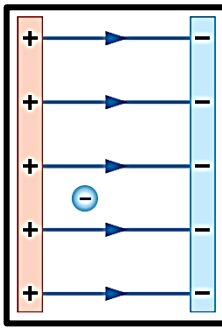
ملاحظات

بما أن التسارع ثابت؛ فإن حركة الجسيم يمكن وصفها باستخدام معادلات الحركة بتسارع ثابت وهي:

$$v_f = v_i + a\,\Delta t$$
$$v_f^2 = v_i^2 + 2a\,\Delta d$$
$$\Delta d = v_i \Delta t + \frac{1}{2} a\,\Delta t^2$$

انتبه : ستقتصر دراستنا على تطبيق معادلات الحركة على الجسيمات المتحركة في بعد واحد (موازية للمجال).

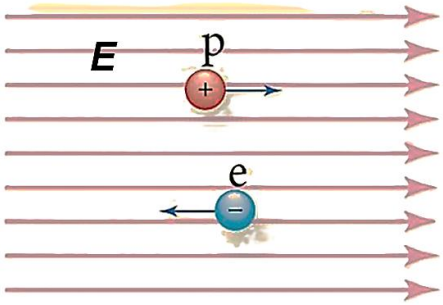
مثال كتاب



جُسيم كتلته (200 mg) يحمل شحنة مقدارها (-4.00×10^{-6} C)، وُضِع في حالة سكون داخل مجال كهربائي منتظم مقداره 5.40×10^{3} N/C، كما في الشكل. بإهمال قوّة الجاذبية الأرضية بالنسبة إلى القوّة الكهربائيّة، أحسبُ التسارع الذي يكتسبه الجُسيم.

مثال كتاب

جُسيم كتلته (40 mg) يحمل شحنة سالبة (-5.0×10^{-5} C)، دخل مجالًا كهربائيًّا منتظمًا بسرعة ابتدائية (600 m/s)، باتّجاه محور ($+x$)، إذا كان مقدار المجال الكهربائيّ (3.2×10^{3} N/C)، واتّجاهه مع محور ($+x$)، وبإهمال تأثير قوّة الجاذبية الأرضية؛ فأحسبُ الزمن اللازم لتوقّف الجُسيم عن الحركة.



يبين الشكل مجالا كهربائيا منتظما يتحرك فيه إلكترون وبروتون ، فإذا كانت كتلة البروتون تعادل (1840) كتلة الإلكترون تقريبا ، فأجب عن الأسئلة الآتية :

- أيهما أكبر مقدارا ، القوة الكهربائية المؤثرة في البروتون أم المؤثرة في الإلكترون ؟
- أيهما أكبر تسارعا ، تسارع البروتون أم تسارع الإلكترون ؟ فسر إجابتك .
- القوة الكهربائية متساوية في الحالتين
- تسارع الالكترون أكبر من تسارع البروتون ، وذلك لأن كتلة الالكترون أقل .

مجال كهربائي منتظم مقداره $4 \times 10^{4} N/c$ نحو اليمين ، وضع فيه شحنة مقدارها $-6 \times 10^{-9} C$ ، احسب ما يأتي بإهمال الوزن .

- القوة الكهربائية المؤثرة في الشحنة .
- تسارع الشحنة إذا كانت كتلتها $0.2 \times 10^{-4} Kg$.

ملاحظات

ملاحظات

$F = 2.4 \times 10^{-4} N\ , -x$

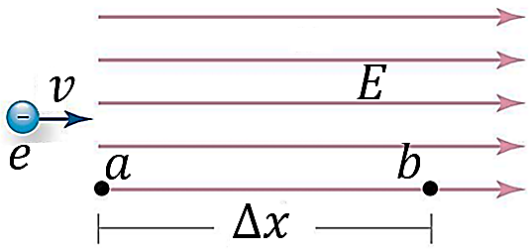
$a = \ 12\ m/s^2$

أطلق جسيم كتلته $0.4\ g$ وشحنته $5\ nc$ من السكون في مجال كهربائي منتظم مقداره $1600\ N/c$ ، فتحرك لمدة $0{,}06\ s$ ، وبإهمال وزن الجسيم أوجد ما يأتي :

1. القوة الكهربائية المؤثرة في الجسيم المشحون
2. تسارع الجسيم أثناء حركته في المجال .
3. المسافة التي يقطعها الجسيم في المجال .

1. $8 \times 10^{-6}\ N$
2. $4 \times 10^{-2} m/s$
3. $3.6 \times 10^{-5} m$

إلكترون ($e = 1.6 \times 10^{-19} c\ , m = 9 \times 10^{-31} Kg$) يتحرك باتجاه المحور السيني الموجب بسرعة ($\frac{8}{3} \times 10^{6}\ m/s$) ، أدخل هذا الإلكترون مجالا كهربائيا منتظما مقداره ($1 \times 10^{3}\ N/c$) ، وبالاتجاه المبين في الشكل . إذا بدأ الإلكترون حركته تحت تأثير المجال الكهربائي من النقطة (a) وتوقف عند النقطة (b) ، فاحسب الإزاحة التي قطعها .

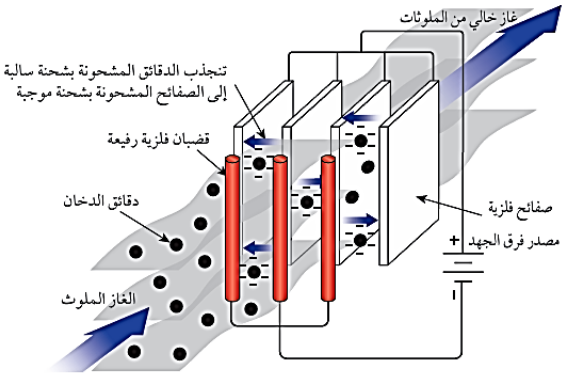


$\Delta x = 0.02\ m$

الربطُ مع الصناعة

المرشِّح الكهرستاتيكي هو جهاز تنقية يُستخدم لإزالة الجسيمات الدقيقة مثل الدخان من الغاز المنبعث من مداخن المصانع.

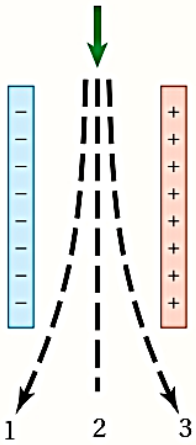
يحتوي الجهاز على قضبان فلزّية رفيعة وصفائح فلزية تشحن باستخدام مصدر فرق جهد عال؛ فينشأ حول القضبان مجال كهربائي يؤدي إلى إكساب دقائق الدخان شحنةً سالبةً في أثناء مرورها عبر الجهاز، فتنجذب نحو الصفائح الفلزّية المشحونة بشحنة موجبة.



مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسة:** أصف المجال الكهربائي لموصل كروي مشحون، والمجال الكهربائي بين صفيحتين متوازيتين مشحونتين بشحنتين متساويتين مقدارًا ومختلفتين نوعًا.

2. **أستنتج:** يتحرك إلكترون بسرعة ابتدائية باتجاه محور ($y-$)، ويدخل إلى منطقة مجال كهربائي منتظم في الحيّز بين صفيحتين متوازيتين، كما يبين الشكل المجاور. فيتأثر بقوة كهربائية تُكسِبه تسارعًا ثابتًا.



أ . ما اتجاه كل من القوة الكهربائية، والتسارع؟

ب . أحدد أيّ المسارات (1، 2، 3) يمثّل مسار حركة الإلكترون داخل المجال، أُفسّر إجابتي.

جـ. عند دخول بوزترون (شحنته $+e$ وكتلته تساوي كتلة الالكترون) يتحرك بالسرعة نفسها إلى منطقة المجال نفسه، أيّ المسارات (1، 2، 3) يمثّل مسار حركته داخل المجال؟

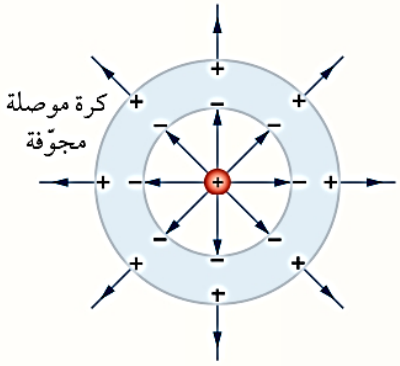
3. **أستخدم الأرقام:** قشرة رقيقة تتوزع الشحنة على سطحها بانتظام وبكثافة سطحية ($-3.00 \times 10^{-12}\ C/m^2$). أحسب مقدار القوة الكهربائية المؤثرة في إلكترون يوضع بالقرب من القشرة.

4. **أستخدم الأرقام:** صفيحتان فلزّيتان مشحونتان بشحنتين كهربائيتين متساويتين؛ إحداهما موجبة والأُخرى سالبة، موزّعة عليهما بانتظام بكثافة سطحية ($7.1 \times 10^{-7}\ C/m^2$)، إذا كانت أبعاد الصفيحتين كبيرة مقارنة بالمسافة الفاصلة بينهما، فأجد:

أ. المجال عند نقطة بين الصفيحتين.

ب. تسارع جسيم كتلته ($5.0 \times 10^{-4}\ kg$) وشحنته ($2.0 \times 10^{-7}\ C$) عند وضعه بين الصفيحتين، بإهمال وزن الجسيم.

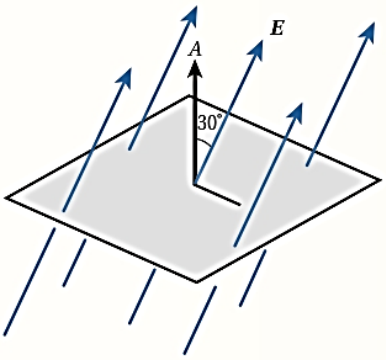
5. **التفكير الناقد:** وضعت شحنة نقطية ($+Q$) في مركز كرة موصلة مجوفة ومتعادلة كهربائيًا؛ فشحنت الكرة بالحث كما يبين الشكل المجاور.



مستخدمًا قانون غاوس؛ أصف المجال الكهربائي عند نقطة تقع داخل مادة الكرة، وعند نقطة تقع خارج الكرة.

6. أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة لكل جملة مما يأتي:

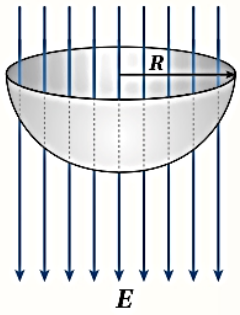
1. مربع طول ضلعه (l)، تخترقه خطوط مجال كهربائي منتظم كما يبين الشكل المجاور، فيكون التدفق عبره (Φ). فإن مقدار المجال (E) يساوي:



أ. $\frac{\Phi}{l\cos 30°}$ ب. $\frac{\Phi}{l^2\cos 30°}$

جـ. $\frac{l^2\cos 30°}{\Phi}$ د. $\frac{\Phi}{l^2\sin 30°}$

2. سطح غاوس على شكل نصف كرة مجوفة نصف قطرها (R)، كما هو مبين في الشكل، موضوعة في مجال كهربائي (E) باتجاه محور $(-y)$. التدفق الكهربائي عبر السطح الجانبي لنصف الكرة:



أ. $\pi R^2 E$ ب. $-\pi R^2 E$

جـ. $2\pi RE$ د. $-2\pi RE$

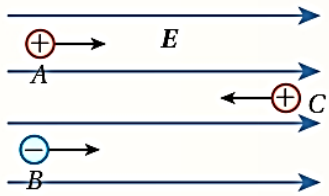
3. صفيحتان متوازيتان مساحة كل منهما (A)، شحنتا بشحنتين مختلفتين نوعًا، ومقدار الشحنة على كل صفيحة (Q)؛ فتولّد في الحيز بينهما مجال كهربائي (E). عند مضاعفة كل من (A) و (Q)؛ فإن مقدار المجال الكهربائي يصبح:

أ. $\frac{E}{4}$ ب. $\frac{E}{2}$ جـ. E د. $2E$

4. كرة موصلة نصف قطرها (R)، وكرة موصلة ثانية نصف قطرها $(\frac{R}{2})$، تحملان شحنتين متساويتين، ولا تؤثران في بعضهما بعضًا. إذا كان المجال الكهربائي على بعد $(r > R)$ من مركز الكرة الأولى (E_1)؛ فإن المجال الكهربائي على البعد نفسه من مركز الكرة الثانية يعطى بالعلاقة:

أ. $E_2 = 2E_1$ ب. $E_2 = \frac{1}{2}E_1$ جـ. $E_2 = \frac{1}{4}E_1$ د. $E_2 = E_1$

5. ثلاث جسيمات مشحونة أدخلت إلى مجال كهربائي منتظم بالسرعة الابتدائية نفسها، والشكل يبين اتجاه حركة كل جسيم لحظة دخوله إلى المجال. الجسيمان (A,C) موجبا الشحنة، والجسيم (B) شحنته سالبة. أي من الجسيمات ستزداد سرعته مباشرة بعد دخوله إلى منطقة المجال؟



أ. A فقط. ب. A و B

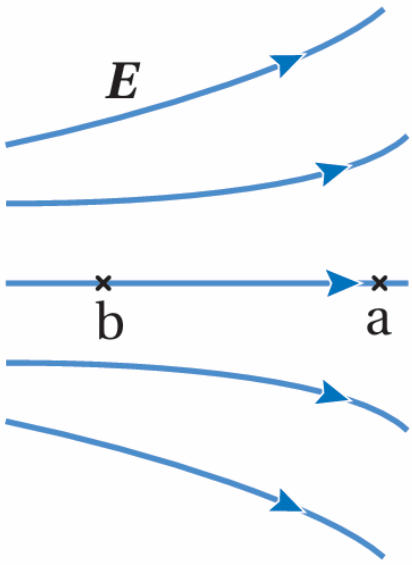
جـ. A و C د. C و B

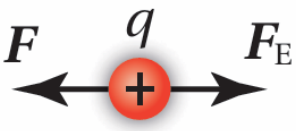
ملاحظات

الدرس 2

الجهد الكهربائي
Electric Potential

الجهد الكهربائي وطاقة الوضع الكهربائية





عند نقل شحنة اختبار $(+q_0)$ بسرعة ثابتة من اللانهاية إلى نقطة في مجال كهربائي، كما يبين الشكل ؛ فإنه يلزم التأثير في الشحنة بقوة خارجية، تبذل عليها شغلًا (W)، وبافتراض أن اللانهاية هي النقطة المرجعية التي تكون طاقة الوضع الكهربائية عندها صفرًا؛ فإن هذا الشغل يختزن في نظام (الشحنة - المجال الكهربائي) على شكل طاقة وضع كهربائية (PE)، وسنشير إليها بأنها طاقة الوضع الكهربائية للشحنة الموضوعة عند نقطة في المجال الكهربائي .

الجهد الكهربائي عند نقطة : ناتج قسمة طاقة الوضع (PE) على الشحنة (q_0) ، ويعرف بأنه طاقة الوضع الكهربائية لوحدة الشحنات الموضوعة عند النقطة، ويعطى بالعلاقة الآتية:

$$V = \frac{PE}{q_o}$$

انتبه :

- الجهد الكهربائي كمية قياسية، يقاس بوحدة (J/C) وتعرف بالفولت (V).
- الجهد الكهربائي عند نقطة هو خاصية للشحنة المولدة للمجال، ولا يعتمد على الشحنة الموضوعة عند النقطة.

صيغ مطاليب الأسئلة :

طاقة وضع الشحنة (q_o) في النقطة (a) .

$$PE_a = q_o\, V_a$$

الشغل اللازم لنقل الشحنة (q_o) من المالانهاية إلى النقطة (a) .

$$W_{\infty \to a} = q_o\, V_a$$

التغير في طاقة وضع الشحنة (q_o) عند نقلها من النقطة (a) إلى النقطة (b) .

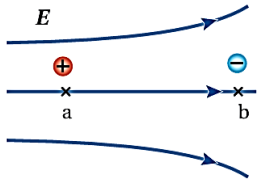
$$\Delta PE_a = q_o\,(V_b - V_a)$$

الشغل اللازم لنقل الشحنة (q_o) من النقطة (a) إلى النقطة (b) .

$$W_a = q_o\,(V_b - V_a)$$

مثال كتاب :

شحنتان نقطيتان $(+q)$ و$(-q)$، وضعتا في حالة السكون عند النقطتين (a) و (b) في مجال كهربائي، كما يبين الشكل ، أستعين بالشكل للإجابة عن الأسئلة الآتية:



أ . أيّ النقطتين (a) أم (b) الأعلى جهدًا؟ أُفسّر إجابتي.

ب. أحدد اتجاه القوة الكهربائية المؤثرة في كلّ من الشحنتين.

جـ. أصف التغيُّر في كل من: طاقة الحركة، وطاقة الوضع الكهربائية للشحنتين في أثناء حركتهما داخل المجال بدءًا من السكون.

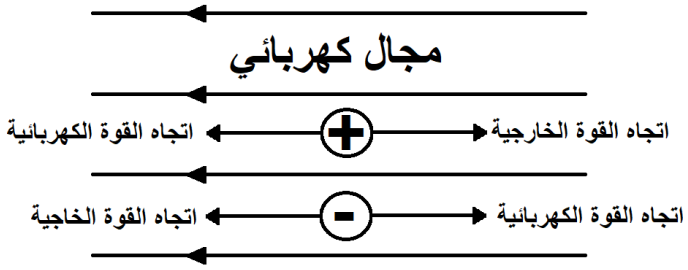
ماذا نعني بأن : الجهد الكهربائي عند نقطة يساوي 5 فولت .

أنه إذا وضعت شحنة كهربائية مقدارها ($1\ c$) ، فإنها ستختزن طاقة وضع كهربائية مقدارها ($5\ J$) .

انتبه :

طاقة الوضع الكهربائية لشحنة في المالانهاية يساوي صفرا ، لأنها لا تتأثر بقوة كهربائية ، وعليه فان جهد أي نقطة في المالانهاية يساوي صفرا كذلك .

يمثل الشكل الآتي توزيع القوة عند تحريك شحنة موجبة وشحنة سالبة في منطقة المجال الكهربائي . ويلزم بالاعتماد على الشكل الانتباه لما يأتي :



ملاحظات

- يكون اتجاه المجال الكهربائي من منطقة الجهد المرتفع إلى منطقة الجهد المنخفض .
- يكون الشغل كهربائيا عند تحريك الشحنة الموجبة مع اتجاه المجال الكهربائي وتحريك الشحنة السالبة بعكس اتجاه المجال الكهربائي .
- يكون الشغل خارجيا عند تحريك الشحنة الموجبة عكس المجال الكهربائي وتحريك الشحنة السالبة مع اتجاه المجال الكهربائي .
- عند تحريك الشحنة مع اتجاه القوة الكهربائية ، تبذل القوة الكهربائية شغلا موجبا على الشحنة وذلك لأن اتجاه الإزاحة مع اتجاه القوة الكهربائية ، فتقل طاقة الوضع الكهربائية ، ويكون الشغل الخارجي سالبا وذلك لأن القوة الخارجية بعكس اتجاه الإزاحة .
- عند تحريك الشحنة مع اتجاه القوة الخارجية ، تبذل القوة الخارجية شغلا موجبا على الشحنة وذلك لأن اتجاه الإزاحة مع اتجاه القوة الخارجية ، فتزداد طاقة الوضع الكهربائية ، ويكون الشغل الكهربائي سالبا وذلك لأن القوة الكهربائية بعكس اتجاه الإزاحة .

نقلت شحنة موجبة من نقطة قريبة من شحنة موجبة إلى نقطة أخرى بعيدة عن الشحنة فكان الشغل موجبا . فسر ذلك ؟

تم نقل الشحنة من نقطة ذات جهد مرتفع إلى نقطة ذات جهد منخفض تحت تأثير قوة كهربائية فقلت طاقة وضعها .

تحركت شحنة موجبة باتجاه المجال فقلت طاقة وضعها . فسر ذلك ؟

تم نقل الشحنة من نقطة ذات جهد مرتفع إلى نقطة ذات جهد منخفض تحت تأثير قوة كهربائية فقلت طاقة وضعها .

شحنة نقطية $(+2 \times 10^{-9} c)$ نقلت من النقطة (a) إلى النقطة (b) في مجال كهربائي بسرعة ثابتة ، إذا بذلت القوة الخارجية شغلا $(14 \times 10^{-9} J)$ ، فاحسب :

- فرق الجهد الكهربائي بين النقطتين $(V_a - V_b)$.
- الشغل الذي تبذله قوة خارجية لنقل شحنة $(-2 \times 10^{-9} c)$ من (b) إلى (a) بسرعة ثابتة .

- $-7\ V$
- $14 \times 10^{-9} J$

يتم بذل شغل خارجي مقداره $(1.5 \times 10^{-4} J)$ لنقل شحنة مقدارها $(5 \times 10^{-6} J)$ من (x) إلى (y) ، أوجد :

- فرق الجهد $(V_x - V_Y)$.
- جهد النقطة (x) إذا كان جهد النقطة (y) يساوي $(32\ V)$.

- $30\ V$

ملاحظات

- $62\ V$

شحنة كهربائية مقدارها ($2 \times 10^{-8} c$) موضوعة عند النقطة (a) التي جهدها ($5V$) ، احسب كلا مما يلي :

- طاقة وضع الشحنة في (a) .
- شغل القوة الخارجية اللازم لنقل الشحنة من موضعها عند (a) إلى النقطة (b) التي جهدها ($12V$)
- التغير في طاقة وضع الشحنة عند نقلها من (b) إلى (a) .

- $PE_a = 1 \times 10^{-7} J$
- $W_{a \to b} = 14 \times 10^{-8} J$
- $\Delta PE_{b \to a} = -14 \times 10^{-8} J$

تدريبات ذاتية :

تدريب (1) : إذا لزم شغل خارجي مقداره ($20 \times 10^{-6} J$) لنقل شحنة نقطية من النقطة (x) التي جهدها ($-5V$) إلى اللانهاية ، اجب عما يأتي :

1. ماذا نعني بقولنا أن جهد النقطة (x) يساوي ($-5V$).
2. احسب مقدار الشحنة المنقولة من النقطة (x)

تدريب (2) : اكتسب بروتون طاقة وضع كهربائية مقدارها ($3.2 \times 10^{-14} J$) في نقطة ما ، احسب جهد تلك النقطة المؤثرة على البروتون .

تدريب (3) : إذا نقلت شحنة مقدارها ($2 \times 10^{-6} J$) كولوم من (a) إلى (b) فتغيرت طاقة وضعها بمقدار ($+10\ \mu J$) ، فاوجد ($V_a - V_b$)

تدريب (4) : تحرك بروتون من النقطة (d) إلى النقطة (h) فقلت طاقة وضعه بمقدار ($32 \times 10^{-15} J$) جول ، فاوجد ($V_d - V_h$) .

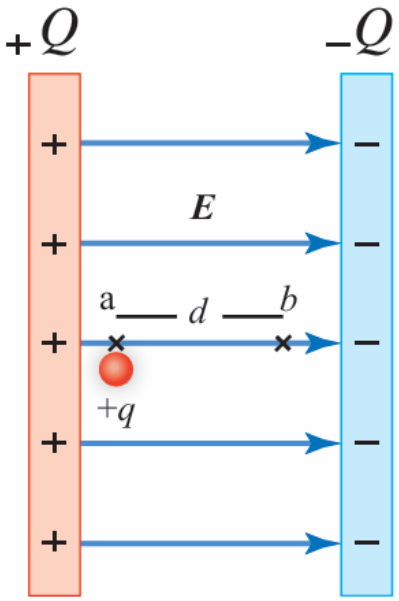
الربط بالتكنولوجيا الطبية

تصدُرُ من القلب نبضات كهربائية صغيرة، يمكن الكشف عنها باستخدام جهاز تخطيط القلب electrocardiogram (ECG).

يقيس جهاز (ECG) إشارات الجهد الكهربائي التي ينتجها القلب مع كل نبضة، حيث تعمل هذه الإشارات على تنظيم عملية انقباض القلب لضخ الدم إلى الجسم. يقوم الجهاز بتسجيل هذه الإشارات وتحويلها إلى رسم بياني يُظهِر النشاط الكهربائي للقلب، مما يساعد الأطباء في تقييم صحة القلب.

ملاحظات

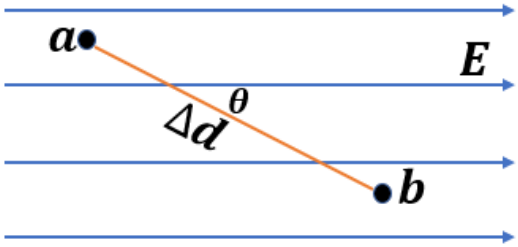
فرق الجهد في المجال الكهربائي المنتظم



عند وضع شحنة موجبة $+q$ عند نقطة مثل a في مجال كهربائيّ منتظم E كما في الشكل ، فإنّها تتأثر بقوّة كهربائيّة حسب العلاقة: $F_E =$ Eq، والشغل الذي تبذله القوّة الكهربائيّة لتحريك تلك الشحنة من النقطة a إلى النقطة b، يُعطى بالعلاقة:

$$W_{a\to b} = F.d$$

عند تحريك الشحنة في المجال الكهربائي المنتظم بسرعة ثابتة فانه لابد من التأثير عليها بقوة خارجية تساوي القوة الكهربائية المؤثر عليها مقدارا وتعاكسها اتجاها لتقطع الشحنة إزاحة (d) .



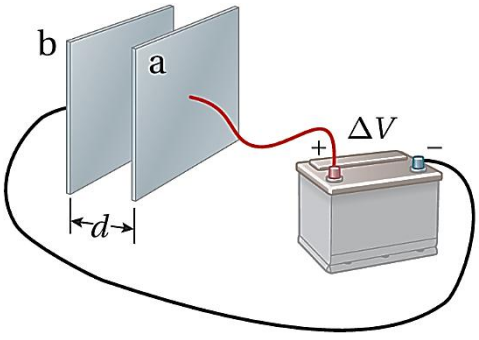
لحساب فرق الجهد بين النقطتين (a , b) نستخدم العلاقة :

$$V_a - V_b = E\ \Delta d_{a\to b}\ cos\theta$$

إذا كان المجال يعامد الإزاحة ($\theta = 90$) فإن ($\Delta V = 0$) وتكون جميع النقاط الواقعة على الخط العمودي على المجال متساوية في الجهد ، لذلك لا يوجد تغير في طاقة الوضع عند نقل وحدة الشحنات بينها ، وكذلك فانه لا يوجد تغير في الشغل المبذول عند ذلك.

يستخدم المجال الكهربائي المنتظم في المسارعات النووية لتسريع الجسيمات النووية الصغيرة مثل الالكترونات والبروتونات عن طريق اكسابها طاقة حركية بواسطة فرق جهد كهربائي .

يمكن الحصول على مجال كهربائي منتظم في الحيّز بين صفيحتين متوازيتين مشحونتين بشحنتين متساويتين مقدارًا ومختلفتين نوعًا، عندما تكون المسافة بين الصفيحتين صغيرةً مقارنةً بأبعاد الصفيحتين. ويمكن شحن الصفيحتين بوصلهما بقطبي بطارية، كما يبين الشكل ، فإذا كان فرق الجُهد بين قطبي البطارية (ΔV)؛ سينشأ بين الصفيحتين فرق جهد (ΔV) مساوٍ لفرق جُهد البطارية.

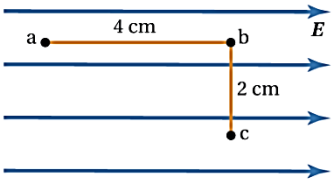


ملاحظات

ملاحظات

مثال كتاب

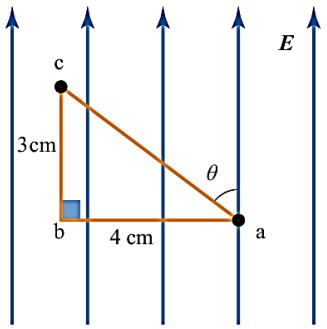
مجال كهربائي منتظم مقداره $(2 \times 10^4\ \mathrm{V/m})$، تقع داخله ثلاث نقاط (a,b,c)، كما في الشكل ، أحسب:



أ . فرق الجهد الكهربائي $(V_b - V_a)$، $(V_b - V_c)$.

ب. التغيُّر في طاقة الوضع الكهربائية لشحنة $(q = 3 \times 10^{-9}\ \mathrm{C})$ عند انتقالها من النقطة (a) إلى النقطة (b).

مثال كتاب



يمثل الشكل مجالًا كهربائيًا مُنتظمًا، تقع داخله ثلاث نقاط (a, b, c)

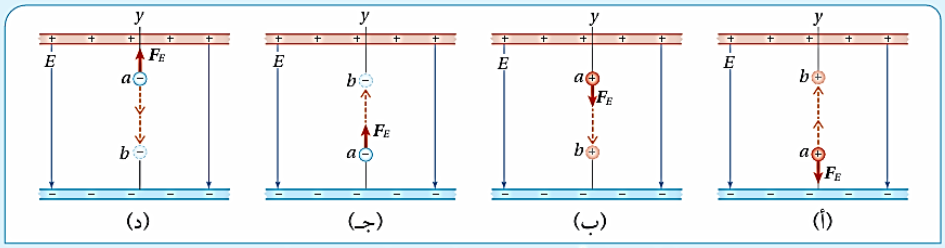
. إذا علمتُ أن فرق الجهد $(V_c - V_b = -600\ \mathrm{V})$، أحسبُ ما يأتي:

أ . مقدار المجال الكهربائي.

ب. فرق الجهد $(V_c - V_a)$.

تمرين

أربع شحنات تتحرك في مجال كهربائي منتظم، كما هو مُبيّن في الشكل (24). حيث يدل السهم البرتقالي على اتجاه الحركة، والسهم الأحمر على اتجاه القوة الكهربائية (F_E) المؤثرة فيها في أثناء حركتها بين نقطتين (a) و (b). مستعينًا بالبيانات المُثبّتة في الشكل؛ أجيب عن الأسئلة الآتية:



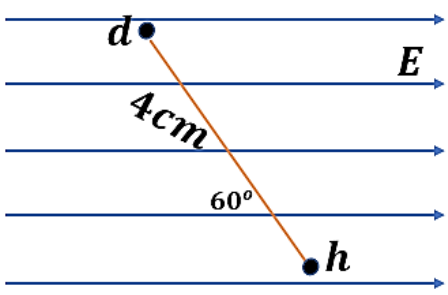
الشكل (24): أربع شحنات تتحرك في مجال كهربائي منتظم.

أ . أحدد: هل تبذل القوة الكهربائية شغلًا موجبًا أم سالبًا لكل حالة من الحالات المبينة في الشكل؟

ب. أستنتج: ماذا يحدث لطاقة الوضع الكهربائية المختزنة في الشحنة عند انتقالها بين النقطتين؟

جـ. أستنتج العلاقة بين التغيُّر في طاقة الوضع الكهربائية المختزنة في الشحنة، واتجاه حركتها في المجال.

مجال كهربائي منتظم مقداره $10^4 N/c \times 5$ نحو اليمين كما في الشكل ، إذا وضعت عند النقطة (d) شحنة مقدارها $4\ \mu c$ ، احسب ما يأتي :

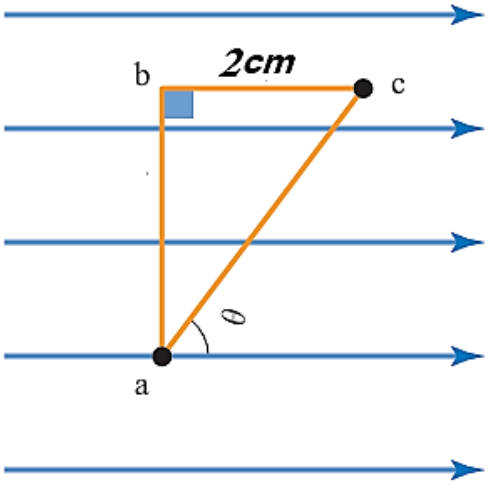


- القوة الكهربائية المؤثرة في الشحنة.
- التغير في طاقة وضع الشحنة عند نقلها إلى (h) بدون تغير في طاقتها الحركية .

ملاحظات

- $0.2\ N\ ,+x$
- $4\times10^{-3}J$

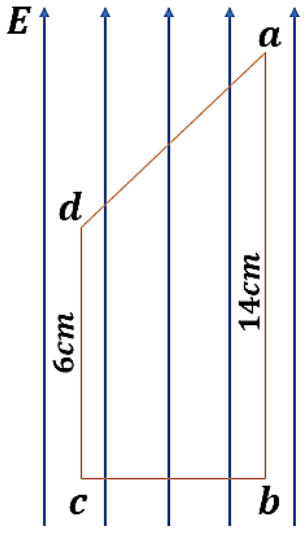
مجال كهربائي منتظم مقداره $5\times10^{4}N/c$ نحو اليمين كما في الشكل ، إذا وضعت عند النقطة (c) شحنة مقدارها $3-\mu c$:



- احسب القوة الكهربائية المؤثرة في الشحنة.
- احسب التغير في طاقة وضع الشحنة عند نقلها إلى (a) بدون تغير في طاقتها الحركية
- حدد نقطتين على الشكل فرق الجهد بينهما يساوي صفرا ، وفسر السبب .

- $0.15\ N\ ,-x$
- $-3\times10^{-3}\ J$
- $a\ ,b$

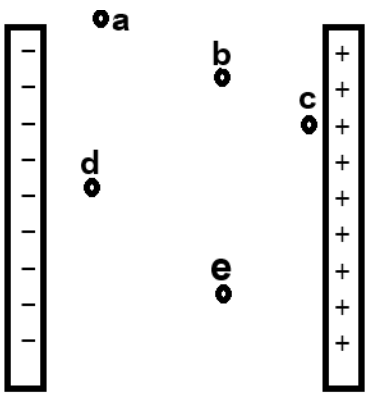
(a,b,c,d,a) مسار مغلق في مجال كهربائي منتظم مقداره ($50\ N/c$) ، (ab) يوازي (cd) وكلاهما يوازي خطوط المجال الكهربائي ، (bc) عمودي على المجال ، فاحسب :



- فرق الجهد بين $(a\ ،\ d)$.
- مقدار التغير في طاقة وضع بروتون عند نقله من (b) إلى (d) .
- الشغل الذي تبذله قوة خارجية لتحريك البروتون عبر المسار ($abcd$) .

- $V_a-V_d=-4V$
- $\Delta PE_{b\to d}=-4.8\times10^{-19}J$
  - $W_{a\to d}=6.4\times10^{-19}J$

لوحان متوازيان مشحونان بشحنتين مختلفتين نوعا ومتساويتين مقدارا ، بالاعتماد على الشكل حدد ما يأتي :



- النقاط المتساوية في المجال الكهربائي .
- النقاط الأعلى جهدا .
- النقاط المتساوية في الجهد .

- b,c,d,e
- c
- b,e

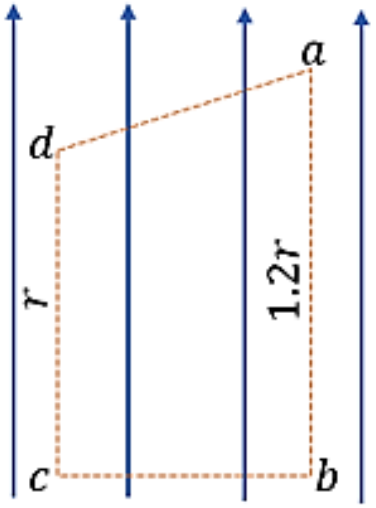
مقدار المجال الكهربائي بين الصفيحتين يعطى بالصورة الآتية:

$$E = \frac{|\Delta V|}{\Delta d}$$

حيث: $|\Delta V|$ القيمة المطلقة لفرق الجهد بين الصفيحتين . (Δd) البعد بين الصفيحتين.

تدريب ذاتي :

يبين الشكل الآتي أربع نقاط (a, b, c, d) تقع في مجال كهربائي منتظم ، معتمدا على البيانات المثبتة على الشكل ، وإذا كان فرق الجهد $(V_a - V_b = 6V)$ ، أجب عما يأتي :



أ) رتب النقاط من الأعلى جهدا إلى الأقل جهدا .

ب) احسب كلا من شغل القوة الكهربائية ، وشغل القوة الخارجية عند نقل إلكترون من (d) إلى (b) بسرعة ثابتة .

ج) حدد نقطتين على الشكل فرق الجهد بينهما صفرا

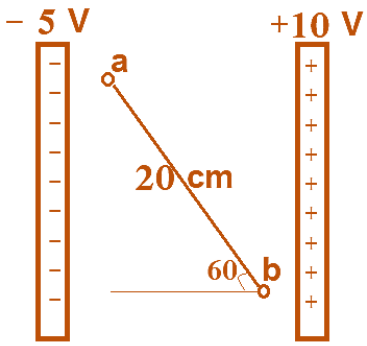
د) يتكون هذا الفرع من (4) فقرات تحتوي كل فقرة على (3) بدائل واحد منها فقط صحيح ، اختر الإجابة الصحيحة في كل مما يأتي :

- عند انتقال بروتون من النقطة (b) إلى النقطة (d) فإن طاقة الوضع الكهربائية : (تزداد ، تقل ، تبقى ثابتة)
- عند انتقال إلكترون من النقطة (a) إلى النقطة (d) فإن طاقة الوضع الكهربائية : (تزداد ، تقل ، تبقى ثابتة)
- عند انتقال بروتون من النقطة (a) إلى النقطة (b) فإن طاقة الوضع الكهربائية : (تزداد ، تقل ، تبقى ثابتة)
- عند انتقال إلكترون من النقطة (c) إلى النقطة (b) فإن طاقة الوضع الكهربائية : (تزداد ، تقل ، تبقى ثابتة)

ملاحظات

الشكل يمثل صفيحتين متجاورتين إحداهما موجبة جهدها $+10V$ والأخرى سالبة جهدها $-5V$ والمسافة بينهما في الفراغ $20\ cm$ ، بالاعتماد على البيانات المبينة على الشكل اوجد ما يلي :

- المجال الكهربائي بين الصفيحتين .
- الشغل المبذول من القوة الكهربائية لنقل شحنة مقدارها $2\ \mu c$ من (b) إلى (a) .

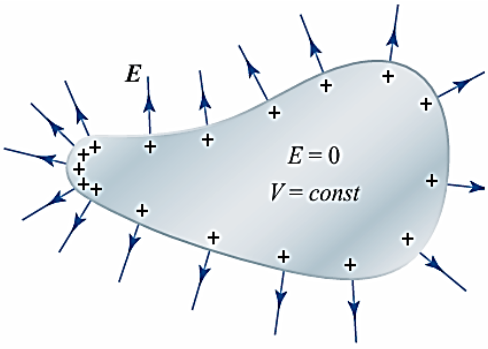


- $75\ N/c\ , -x$
- $1.5 \times 10^{-5} J$

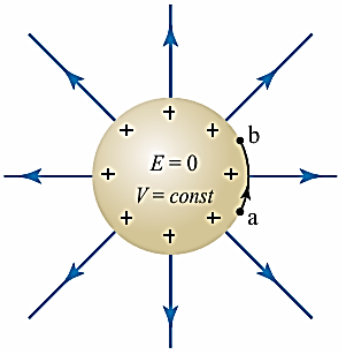
ملاحظات

الجهد الكهربائي لموصل مشحون

عند شحن موصل معزول؛ فإن الشحنات تتحرك مبتعدة عن بعضها تحت تأثير قوة التنافر الكهربائي، إلى أن تستقر على السطح الخارجي للموصل. ويختلف توزيع الشحنات على حسب شكل الموصل، فإذا كان الموصل غير منتظم الشكل، كما في الشكل(أ)؛ فإن الكثافة السطحية للشحنة تكون أكبر عند الرؤوس المُدبّبة، وإذا كان الموصل منتظم الشكل مثل الموصل الكروي المبين في الشكل(ب)؛ فإن الشحنة تتوزع على سطحه بانتظام.



(أ) : خطوط المجال الكهربائي لموصل مشحون غير منتظم الشكل.



(ب): خطوط المجال لموصل كروي مشحون.

إن استقرار الشحنات على سطح الموصل يجعل المجال الكهربائي داخله يساوي صفرًا، وهذا يعني أن الشغل الذي يبذله المجال لنقل شحنة بين أيِّ نقطتين داخل الموصل، أو من نقطة داخل الموصل إلى نقطة على سطحه يساوي صفرًا. وبما أن الشغل يعطى بالعلاقة ($W = q\ \Delta V$)؛ فإن فرق الجهد بين النقطتين يساوي صفرًا، ممّا يعني أن الجهد عند النقاط جميعها داخل الموصل متساو، ويساوي الجهد عند سطح الموصل. وهذا يتفق مع استقرار الشحنات، فلو كان هناك فرق في الجهد بين أي نقطتين؛ لأدى ذلك إلى حركة الشحنات من النقطة ذات الجهد المرتفع إلى النقطة ذات الجهد المنخفض.

انتبه :
خطوط المجال الكهربائئ تكون دائمًا عموديةً على سطح الموصل؛ فيعني ذلك أن المجال الكهربائي لا يبذل شغلًا عند نقل شحنة من نقطة مثل (a) إلى نقطة (b) على سطح الموصل.

ماذا يحدث للشحنات الموضوعة على موصل معزول عندما تُشحن؟
تتحرك الشحنات وتنتشر على سطحه الخارجي بفعل تأثير قوة التنافر الكهربائي حتى تصل إلى توزيع يحقق الاستقرار.

لماذا تكون كثافة الشحنات أكبر عند الرؤوس المدببة للموصل؟
لأن شكل السطح عند الرؤوس المدببة يسبب تجمع خطوط المجال بشكل أكبر، مما يزيد كثافة الشحنات على هذه المناطق.

لماذا يصبح المجال الكهربائي داخل الموصل المشحون معدوماً؟
بسبب استقرار الشحنات على السطح بحيث تلغي قوى التنافر المتعاكسة بعضها داخل الموصل، فينتج مجال داخلي يساوي صفراً.

ما الذي يمكن استنتاجه عندما يكون المجال الكهربائي داخل الموصل صفراً؟
يمكن استنتاج أن الجهد الكهربائي ثابت في جميع نقاط داخل الموصل وعلى سطحه.

إذا كان الجهد ثابتًا على سطح الموصل، فماذا يعني ذلك بالنسبة لطاقة الشحنات؟
يعني أن الشحنات لا تبذل شغلاً عندما تتحرك على السطح لأنها تتحرك بين نقاط ذات جهد متساوٍ.

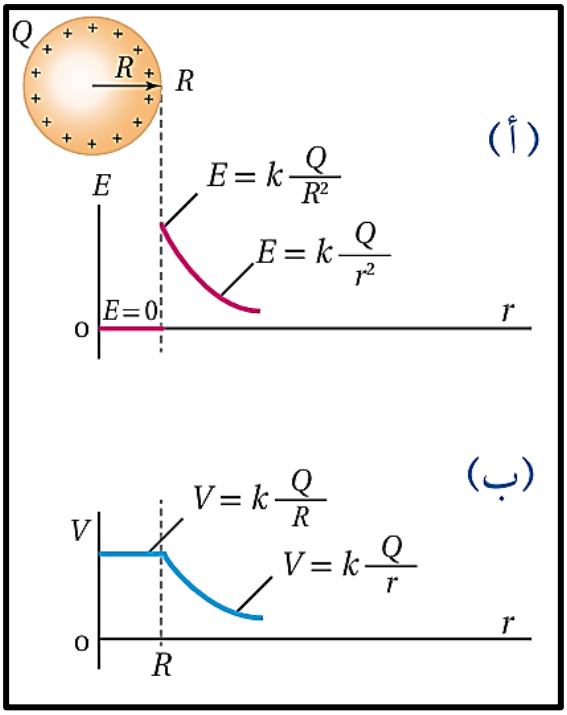
أيهما تكون كثافة خطوط المجال عنده أكبر: السطح المنحني بشدة أم السطح غير المنحني؟
تكون أكبر عند السطح المنحني بشدة (مثل الرؤوس المدببة)، مما يدل على شدة مجال أعلى.

ما العلاقة بين كثافة خطوط المجال وشدة المجال الكهربائي؟
كلما زادت كثافة خطوط المجال في منطقة ما زادت شدة المجال الكهربائي فيها.

إذا كان الجهد ثابتًا داخل ومن على سطح موصل كروي، ماذا يعني ذلك بشأن مقدار الجهد عند أي نقطة على السطح؟
يعني أن الجهد عند أي نقطة على سطح الموصل الكروي متساوٍ ولا يعتمد على المكان على السطح.

ملاحظات

الجهد الكهربائي لموصل كروي مشحون



عند حساب الجهد الكهربائي الناشئ عن موصل كروي مشحون؛ فإننا نعدُّ الشحنة وكأنها في مركز الكرة، فيكون الجهد الكهربائي عند أي نقطة خارج الكرة مماثلًا للجهد الناشئ عن شحنة نقطية .

يبين الشكل (أ) تمثيلًا بيانيًا لتغيُّر المجال الكهربائي بتغير بُعْد النقطة عن مركز الموصل الكُرويّ المشحون، أما الشكل (ب) فيبيّنُ تمثيلًا بيانيًا لتغيُّر الجهد الكهربائي بتغير بُعْد النقطة عن مركز الموصل نفسه.

وعليه؛ فإن الجهد الكهربائي عند أي نقطة خارج موصلٍ كُرويّ نصف قُطره (R)، وشحنته (Q)، وعلى بعد ($r > R$) من مركزه يُعطى بالعلاقة الآتية:

$$V = k\frac{Q}{r}$$

أما الجهد عند أي نقطة على سطح الموصل أو داخله حيث ($r \leq R$)؛ فمقداره ثابت ويُعطى بالعلاقة:

$$V = k\frac{Q}{R}$$

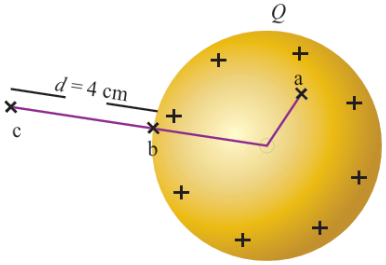
مثال كتاب :

موصلٌ كرويٌّ من النحاس نصف قطره (4 cm) مشحون ومعزول، موضوع في الهواء كما في الشكل ، إذا علمتُ أنّ جهد النقطة a يساوي (2000 V)؛ فأحسبُ:

أ . جهد الموصل الكروي.

ب. شحنة الموصل.

جـ. الشغل الذي تبذله القوّة الكهربائيّة لنقل شحنة (−8 nC) من النقطة c إلى النقطة b.



ملاحظات

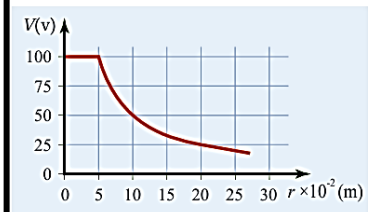
مثال كتاب :

يُمثّل الرسم البياني في الشكل العلاقة بين الجهد الكهربائيّ والبُعد عن مركز موصل كروي مشحون. معتمدًا على الشكل أجد:

أ. نصف قطر الموصل.

ب. الجهد الكهربائيّ عند نقطة تبعد (20 cm) عن مركز الموصل.

جـ. شحنة الموصل.

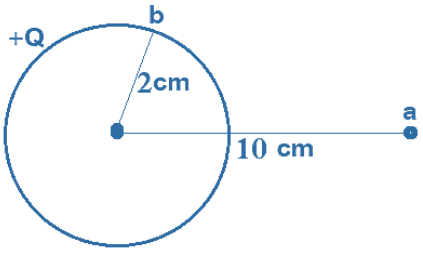


تمرين

أستنتج: كرةٌ موصلةٌ ومشحونةٌ نصف قطرها R وجهدها V، أجد بدلالة V جهد نقطة تبعد مسافة $4R$ عن مركزها.

موصلٌ كرويٌّ نصف قطره (4 cm) مشحون ومعزول، موضوع في الهواء كما في الشكل ، إذا علمت أن الشحنة الكهربائية على الموصل ($Q = 4 \times 10^{-8} c$) . احسب ما يأتي :

- فرق الجهد الكهربائي ($V_a - V_b$)
- الشغل الذي تبذله القوة الكهربائية لنقل شحنة ($q = -3\ nc$) من النقطة (a) إلى مركز الموصل .



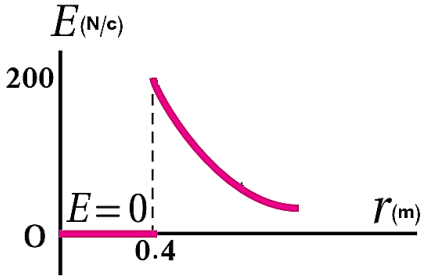
- $1.44 \times 10^{4} V$
- $4.32 \times 10^{-5} J$

يُمثّل الرسم البياني في الشكل العلاقة بين المجال الكهربائيّ والبُعد عن مركز موصل كروي مشحون بشحنة موجبة. معتمدًا على الشكل أجد:

أ. نصف قطر الموصل.

ب. شحنة الموصل.

ج. الجهد الكهربائيّ عند نقطة تبعد (50 cm) عن مركز الموصل.



- $R = 0.4\ m$
- $\frac{32}{9} \times 10^{-9} c$
- $64 V$

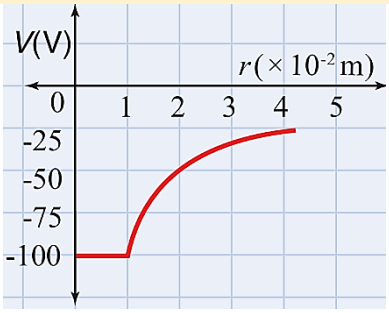
أوجد نسبة قيمة الجهد الكهربائي على سطح الموصل الكروي إلى قيمة المجال الكهربائي على سطحه .

$V : E = R : 1$

ملاحظات

يُمثّل الرسم البياني في الشكل، العلاقة بين الجهد الكهربائيّ والبُعد عن مركز موصل كروي مشحون بشحنة سالبة، مستعينًا بالشكل أحسبُ:

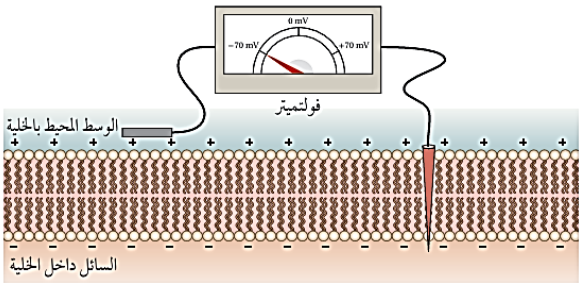
- جهد الموصل الكروي.
- الشغل المبذول من قِبَل القوّة الكهربائيّة لنقل شحنة ($+6\ nc$) من نقطة تبعد ($4\ cm$) إلى نقطة أخرى تبعد ($2\ cm$) عن مركز الموصل.



- $-100V$
- $1.5 \times 10^{-7}V$

الرّبط بالعلوم الحياتيّة

تحتوي الخلية العصبية أيونات موجبة مثل الصوديوم والبوتاسيوم وجزيئات بروتين سالبة الشحنة. تسمح قنوات خاصة في الغشاء الخلوي لأيونات الصوديوم والبوتاسيوم بالحركة عبر الغشاء الخلوي من داخل الخلية إلى خارجها، لكنّ جزيئات البروتين الأكبر حجمًا لا تتمكن من ذلك؛ فينتج عن ذلك أن يصبح داخل الخلية مشحونًا بشحنة سالبة، والسائل خارج الخلية مشحون بشحنة موجبة؛ فينشأ فرق في الجهد الكهربائي -بين داخل الخلية وخارجها- يولّد مجالًا كهربائيًا.



هذا المجال يؤثر في تدفق الأيونات من داخل الخلية إلى خارجها، وبالعكس في وقت الراحة وعند تعرض الخلية إلى مُنبّه عصبي.

الربط بالحياة

ملفّ تسلا جهاز اخترعه العالم الكرواتي نيكولا تسلا عام 1891 م، يولّد الملفّ جهدًا كهربائيًّا عاليًا جدًّا يُمكن أن يصل إلى مليون فولت، ويُمكن عن طريقه نقل الطاقة الكهربائيّة لاسلكيًّا، حيث يعمل الملف على تخزين طاقة وضع كهربائية، تطلق في صورة شرارة تشبه البرق.

يمكن استخدام ملف تسلا بوصفه ملف اشتعال في آلات الاحتراق الداخلي في السيارات، بالإضافة إلى استخدامه في العروض التعليمية وفي مجال الترفيه لإنشاء البرق الاصطناعي.

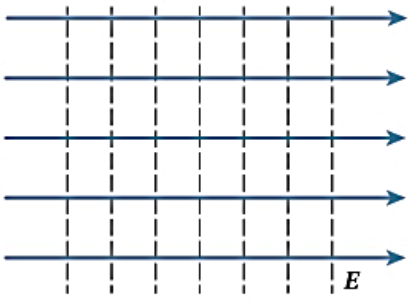
ملاحظات

سطوح تساوي الجهد

الجهد الكهربائي يكون متساويًا عند النقاط الواقعة جميعها على سطح عمودي على المجال، مثل هذا السطح يعرف بسطح تساوي جهد.

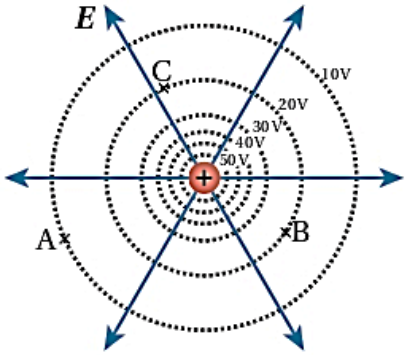
سطح تساوي الجهد : هو السطح الذي يكون الجهد الكهربائي عند نقاطه جميعها متساويًا.

يبين الشكل (أ) سطوح تساوي الجهد لمجال كهربائي منتظم، حيث تبدو السطوح متوازيةً والمسافات بينها متساوية.



الشكل (أ): سطوح تساوي الجهد لمجال كهربائي منتظم.

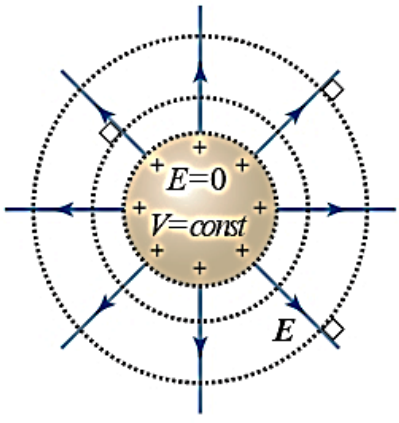
الشكل (ب)؛ فيبين سطوح تساوي الجهد لشحنة نقطية موجبة، وهي سطوح كروية متحدة المركز مع الشحنة .



الشكل (ب): سطوح تساوي الجهد لشحنة نقطية موجبة.

الشكل(ج) يبين أن سطوح تساوي الجهد لموصل كروي مشحون تكون كروية الشكل، وتتحد معه بالمركز، ويعدُّ سطح الموصل المشحون سطح تساوي جهد.

يُمثّل كل سطح تساوي جهد مقدارًا محدّدًا من الجهد الكهربائيّ كما هو مُبيّن في الشكل (ب). ويكون فرق الجهد بين أيّ نقطتين على سطح تساوي الجهد مساويًا للصفر. ولا يلزم بذل شغل لنقل شحنة من نقطة إلى أخرى على سطح تساوي الجهد نفسه.



الشكل (جـ): الجهد الكهربائيّ لموصل كروي مشحون وسطوح تساوي الجهد حوله.

تكون سطوح تساوي الجهد أكثر تقاربا بالقرب من الشحنة ، وذلك لأن المجال الكهربائي للشحنة النقطية مجال غير منتظم يقل كلما ابتعدنا عن الشحنة . (كلما تقاربت سطوح تساوي الجهد دل ذلك على قيمة كبيرة للمجال الكهربائي) .

ملاحظات

خصائص سطوح تساوي الجهد الكهربائي :

- سطوح تساوي الجهد التي يكون الفرق في الجهد بينها متساويًا؛ تتقارب كلّما اقتربنا من الشحنة؛ لأنّ المجال الكهربائيّ يزداد مقداره وتتقارب خطوطه في أثناء الاقتراب من الشحنة، كذلك تتباعد سطوح تساوي الجهد كلّما ابتعدنا عن الشحنة. وعموما؛ حيثما تقاربت سطوح تساوي الجهد دلت على منطقة مجال كهربائي قوي.
- سطوح تساوي الجهد لا تتقاطع؛ لأنها لو تقاطعت عند نقطة لوجدنا أكثر من قيمة للجهد الكهربائيّ عند تلك النقطة وهذا غير ممكن.
- تتعامد سطوح تساوي الجهد مع خطوط المجال الكهربائيّ.

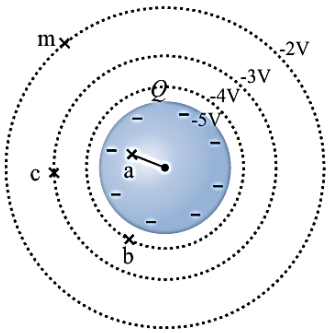
مثال كتاب :

بناءً على الشكل الذي يُمثّل سطوح تساوي الجهد لموصل كروي مشحون بشحنة سالبة، أحسبُ:

أ . فرق الجهد $(V_c - V_b)$ و $(V_a - V_b)$.

ب. الشغل الذي تبذله القوّة الخارجية؛ لنقل إلكترون بسرعة ثابتة من النقطة m إلى النقطة c.

جـ. شحنة الموصل، علمًا أنّ نصف قطره 9 cm .

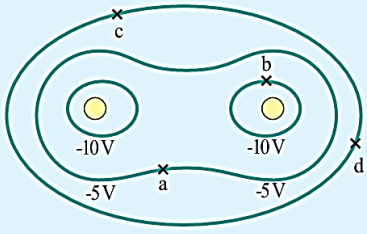


تمرين

أستخدم الأرقام: يُبيّن الشكل سطوح تساوي الجهد لشحنتين نقطيتين سالبتين متساويتين في المقدار. أجيب عمّا يأتي:

أ . أحسبُ فرق الجهد $(V_a - V_b)$.

ب. هل يلزم بذل شغل لنقل بروتون من النقطة c إلى النقطة d؟ أفسر إجابتي.



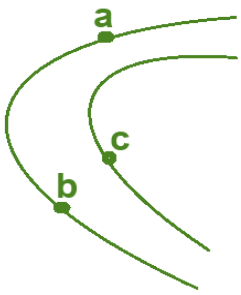
سطوح تساوي الجهد لشحنتين نقطيتين.

علل: سطوح تساوي الجهد عمودية على خطوط المجال الكهربائي .

لا يوجد فرق جهد كهربائي بين أي نقطتين واقعتين على سطح تساوي الجهد ، لذلك فإنه لا يلزم بذل شغل لنقل وحدة الشحنة على سطح تساوي الجهد ، وعليه تكون سطوح تساوي الجهد عمودية على خطوط المجال الكهربائي .

ملاحظات

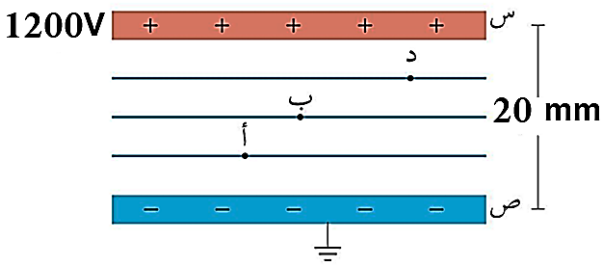
ملاحظات



الشكل التالي يمثل سطحان من سطوح تساوي الجهد ، والنقاط (a , b , c) تقع على السطحين ، وكان ($V_a = 20V$) ، و ($V_c = 32V$) ، احسب :

- $V_a - V_b$ و $V_c - V_b$
- الشغل الخارجي اللازم لنقل شحنة مقدارها ($1 \times 10^{-6} c$) من (b) إلى (c) .

- $V_c - V_b = 12V , V_a - V_b = 0$
- $1.2 \times 10^{-5} J$



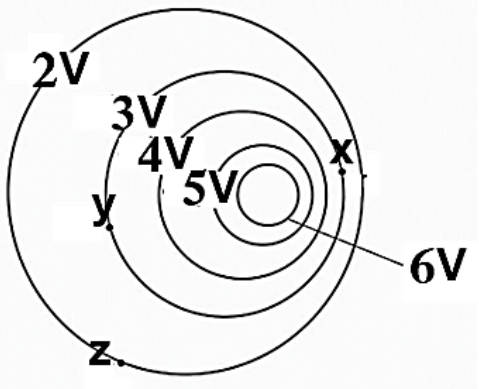
صفيحتان موصلتان متوازيتان ، شحنت الصفيحة (س) بشحنة موجبة ، ووصلت الصفيحة السالبة بالأرض ، فشحنت بالحث بشحنة سالبة ، ويبين الشكل الآتي سطوح تساوي الجهد في الحيز بين الصفيحتين . احسب :

- المجال الكهربائي بين الصفيحتين مقدارا واتجاها .
- الجهد الكهربائي عند النقاط (أ ، ب ، د) .

- $6 \times 10^4 N/c$
- $V_أ = 300V , V_ب = 600V , V_د = 900V$

تدريب ذاتي :

يبين الشكل بعض سطوح تساوي الجهد لتوزيع من الشحنات الكهربائية ، معتمدا على البيانات المثبتة في الشكل أجب عما يأتي :



1- هل الجهد عند النقطة (x) يساوي الجهد عند النقطة (y) ؟ فسر إجابتك .

2- قارن بين مقدار المجال الكهربائي عند النقطتين (x) و (y) . مفسرا إجابتك .

3- احسب شغل القوة الخارجية اللازم لنقل بروتون من النقطة (z) إلى النقطة (y) بسرعة ثابتة .

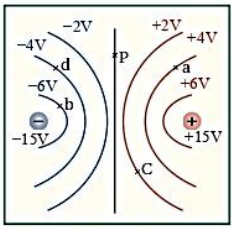
مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسة:** أصف التغيرات في الجهد الكهربائي للحالتين الآتيتين:

– عند الانتقال بين نقطتين داخل مجال كهربائي منتظم باتجاه خط المجال.

– عند الانتقال من مركز موصل كروي مشحون إلى خارج الموصل.

2. **أستنتج:** يُمثّل الشكل سطوح تساوي الجهد لشحنتين متساويتين في المقدار ومختلفتين في النوع، أُجيب عمّا يأتي:

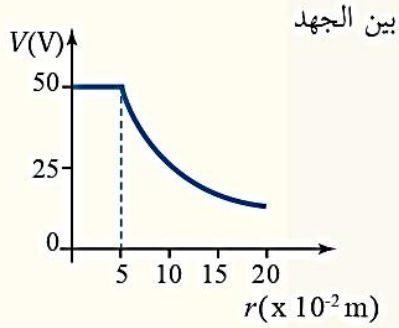


أ . أيّ النقاط جهدها يساوي صفرًا.

ب. ما فرق الجهد $(V_a - V_c)$, $(V_b - V_d)$ ؟

جـ. أحسبُ الشغل الذي تبذله القوّة الخارجية لنقل شحنة (5 nC) من النقطة d إلى النقطة a.

3. **أستخدم الأرقام:** كرة من النحاس مشحونة بشحنة موجبة، مُثّلت العلاقة بين الجهد الكهربائيّ والبُعد عن مركز الكرة كما في الشكل، أحسبُ:



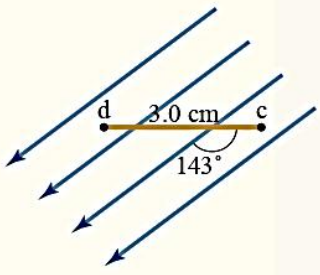
أ . الجهد الكهربائيّ عند نقطة تبعد (4 cm) عن مركز الكرة.

ب. شحنة الكرة.

جـ. الشغل الذي تبذله القوّة الكهربائيّة لنقل شحنة (6 μC) من مركز الكرة إلى نقطة تبعد (8 cm) عن مركز الكرة.

4. **أستخدم الأرقام:** جسيم مشحون بشحنة موجبة اكتسب طاقة وضع كهربائيّة مقدارها 1.6×10^{-16} J خلال تحرّكه مسافة (3 cm) في مجال كهربائيّ منتظم مقداره 2×10^{4} V/m، أحسبُ شحنة الجسيم.

5. **أستخدم الأرقام:** نقطتان c و d في مجال كهربائيّ منتظم مقداره 3.0×10^{3} V/m كما في الشكل، أحسبُ:

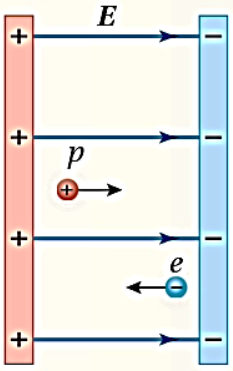


أ . فرق الجهد الكهربائيّ $(V_c - V_d)$.

ب. الشغل المبذول بوساطة قوّة خارجية لنقل بروتون من النقطة d إلى النقطة c بسرعة ثابتة، علمًا بأنّ شحنة البروتون $(1.6 \times 10^{-19}$ C).

6. أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة لكل جملة مما يأتي:

1. إلكترون وبروتون بدآ بالحركة من السكون بالقرب من صفيحتين فلزّيتين، كما هو مبين في الشكل المجاور، عندما يصل كل منهما إلى الصفيحة المقابلة نجد أن:



أ . البروتون والإلكترون متساويان في السرعة.

ب. سرعة البروتون أكبر من سرعة الإلكترون.

جـ. البروتون والإلكترون متساويان في الطاقة الحركية.

د . الطاقة الحركية للإلكترون أكبر من الطاقة الحركية للبروتون.

2. يتحرك جسيم كتلته (m)، وشحنته (q) من السكون في مجال كهربائي منتظم بين نقطتين فرق الجهد بينهما (ΔV)؛ فتكون سرعته النهائية (v). عندما يتحرك جسيم ثاني كتلته $(\frac{m}{2})$، وشحنته $(2q)$ من السكون بين نقطتين فرق الجهد بينهما $(2\Delta V)$، فإن السرعة النهائية لهذا الجسيم بدلالة (v):

أ . $\sqrt{2}\,v$ ب. $2\sqrt{2}\,v$ جـ. $4v$ د. $8v$

3. صفيحتان متوازيتان (X,Y)، شُحنتا بشحنتين متساويتين مقدارًا ومختلفتين في النوع فتولد في الحيّز بينهما مجال كهربائي منتظم. تحرك إلكترون من السكون باتجاه القوة الكهربائية من الصفيحة (X) إلى الصفيحة (Y)؛ فكانت الزيادة في طاقته الحركية $(6.4 \times 10^{-19}\,J)$. نستنتج أن الجهد الكهربائي للصفيحة (X):

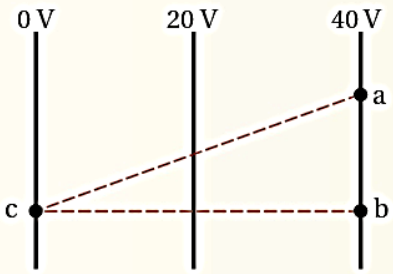
أ . أعلى من جهد الصفيحة (Y) بمقدار (4 V).

ب. أقل من جهد الصفيحة (Y) بمقدار (4 V).

جـ. أعلى من جهد الصفيحة (Y) بمقدار (0.25 V).

د . أقل من جهد الصفيحة (Y) بمقدار (0.25 V).

* يبين الشكل سطوح تساوي جهد كهربائي ناتجٍ عن مجال كهربائي منتظم. بالاعتماد على البيانات المثبتة على الشكل؛ أُجيبُ عن الفقرتين الآتيتين:



4. يكون اتجاه المجال الكهربائي باتجاه محور:

أ . $+x$ ب. $-x$

جـ. $+y$ د . $-y$

5. تزداد طاقة الوضع الكهربائية لشحنة سالبة عند انتقالها من:

أ . النقطة (a) إلى النقطة(b).

ب. النقطة (b) إلى النقطة (c).

جـ. النقطة (c) إلى النقطة (a).

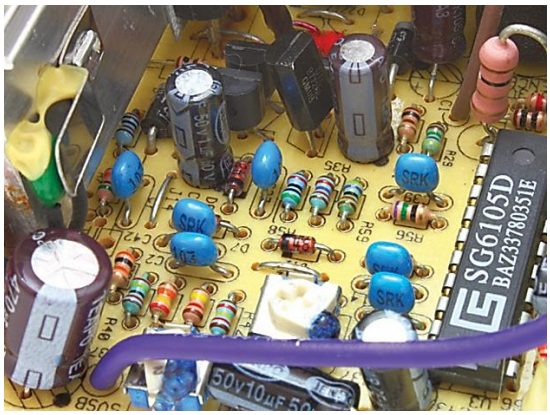
د. النقطة (b) إلى النقطة (a).

الدرس 3

المواسعة الكهربائيّة
Electrical Capacitance

ملاحظات

المواسع الكهربائي

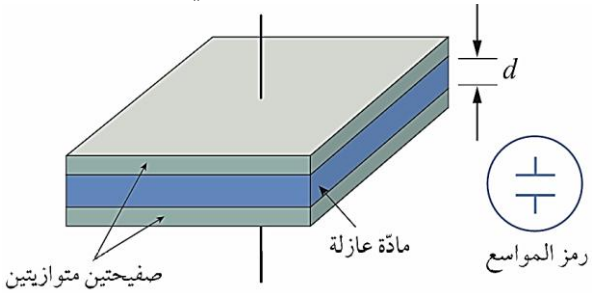


تتكون الأجهزة الكهربائية من دارات كهربائية ودارات إلكترونية متنوعة. ويلزمُ في كثيرمن الدارات وجود أداة تستخدم لتخزين الطاقة؛ تُسمى المواسع الكهربائي .

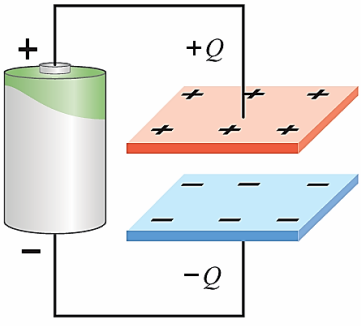
تختلف المواسعات في أشكالها وأحجامها حسب استعمال كل منها. ومعظمالأجهزة الإلكترونية تحتوي على مواسعات كما في لوحة الحاسوب المبينة في الشكل .

معظم المواسعات المستعملة في التطبيقات العملية، تتكوّن من صفيحتين موصلتين متوازيتين تفصلهماطبقة من مادّة عازلة، ويُسمّى المواسع ذا الصفيحتين المتوازيتين .

يرمز للمواسع ذا الصفيحتين المتوازيتين بخطّين متوازيين كما في الشكل ، وشكل الصفيحتين يُمكن أن يكون مربّعًا أو مستطيلًا أو دائريًّا، حسب الاستعمال. أمّا المادّة العازلة فتتكوّن من مادّة مناسبة مثل البوليستر أو المايكا أو الهواء في بعض الحالات.



شحن المواسع



عند وصل مواسع ذي صفيحتين متوازيتين مع بطّارية؛ فإنّ البطّارية تنقل الإلكترونات عبر الدارة من إحدى صفيحتي المواسع إلى الصفيحة الأخرى، فتعمل على شحن الصفيحة الموصولة بالقطب السالب بشحنة سالبة، بينما تُشحن الصفيحة الموصولة مع القطب الموجب بشحنة موجبة كما في الشكل .

بزيادة تراكم الشحنات على صفيحتي المواسع يزداد فرق الجهد بين الصفيحتين، وتستمر عملية الشحن حتى يُصبح فرق الجهد بين صفيحتَي المواسع مساويا لفرق جهد البطارية. والشغل الذي تبذله البطارية لنقل الشحنات يُختزن في المواسع على شكل طاقة وضع كهربائيّة.

ما هو تأثير توصيل المواسعات معًا في الدائرة الكهربائية؟

عندما يتم توصيل المواسعات معًا، فإنها تترتب في دائرة لتخزين الطاقة الكهربائية. إذا تم توصيل المواسع بمصدر طاقة، يبدأ المواسع في الشحن، حيث يتم نقل الإلكترونات من أحد الأطراف إلى الآخر مما يؤدي إلى زيادة الشحنة على أحد الأقطاب.

كيف يتم شحن المواسع عندما يتم توصيله بمصدر طاقة؟

يتم شحن المواسع عند توصيله بمصدر طاقة من خلال انتقال الشحنات الكهربائية إلى الأقطاب المتصلة بالمكثف، مما يؤدي إلى تطور فرق جهد بين الأقطاب.

ماذا يحدث عندما يتعرض المواسع لفرق جهد؟

عندما يتعرض المواسع لفرق جهد، تبدأ عملية الشحن حيث يتجمع شحن موجب على القطب الموجب وشحن سالب على القطب السالب، مما يؤدي إلى تخزين الطاقة الكهربائية في المواسع.

ما هي علاقة الجهد الكهربائي بالتيار أثناء شحن المواسع ؟

العلاقة بين الجهد والتيار أثناء شحن المواسع هي أن الجهد يزيد تدريجياً مع زيادة الشحنة المخزنة على المواسع ، بينما يكون التيار في البداية كبيراً ويقل مع مرور الوقت.

ماذا يعني أن تكون المواسعات مشحونة في دائرة كهربائية؟

يعني أن المواسع قد خزّن طاقة كهربائية على شكل شحنات عند أحد الأقطاب. هذه الشحنات تتولد نتيجة لفرق الجهد بين الأقطاب.

ماذا يعني أن تكون السعة الكهربائية للمواسع ثابتة في حال تغيير الجهد؟

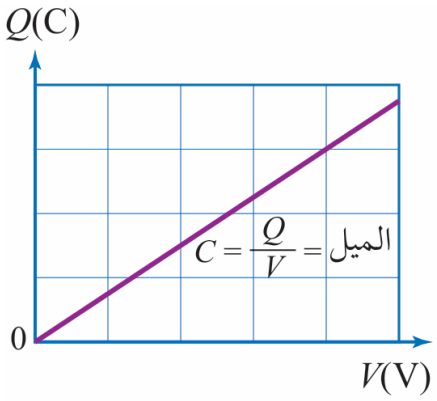
السعة الكهربائية للمواسع تكون ثابتة لكل مواسع عند قيم معينة من الجهد. هذا يعني أن العلاقة بين الشحنة المخزنة وفرق الجهد تكون خطية، حيث تزداد الشحنة مع زيادة الجهد بنفس النسبة.

كيف يُؤثر التغيير في الجهد على الشحنة المخزنة في المواسع ؟

عندما يزيد الجهد، تزداد الشحنة المخزنة في المواسع بنسب متساوية. هذا لأن السعة الكهربائية ثابتة ولذا فإن الشحنة المخزنة تتناسب طرديًا مع فرق الجهد.

ملاحظات

المواسعة الكهربائيّة



في أثناء شحن المواسع يزداد فرق الجهد بين صفيحتي المواسع بزيادة الشحنات الكهربائية على صفيحتيه. يُستخدم الرمز (V) ليدل على فرق الجهد بين صفيحتي المواسع (جهد المواسع)، ويستخدم الرمز (Q) ليدل على مقدار الشحنة على أيٍّ من صفيحتي المواسع، وعند تمثيل العلاقة بين جهد المواسع وشحنته بيانيًّا؛ نجد أنّها علاقة خطّية تُمثّل بخطّ مستقيم يمرّ بنقطة الأصل كما في الشكل ، وميل الخطّ المستقيم يساوي مقدارًا ثابتًا يُمثّل المواسعة الكهربائيّة ويُرمز لها بالرمز C :

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta V} = \text{الميل}$$

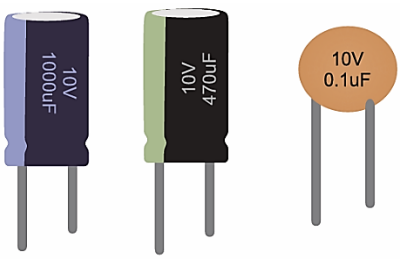
حيث : Q :شحنة المواسع عند أيّ لحظة. V : جهد المواسع عند تلك اللحظة.

المواسعة الكهربائيّة : هي الشحنة الكهربائيّة المختزنة لوحدة فرق الجهد الكهربائيّ. أي أنها النسبة بين التغير في كمية الشحنة المختزنة في المواسع إلى التغير في فرق الجهد بين طرفيه (بين صفيحتيه) .

تقاس المواسعة بوحدة (فاراد (F)) وهي تكافئ (كولوم / فولت (c/V)) .

الفاراد : هو مواسعة مواسع يختزن شحنة مقدارها ($1c$) عندما يكون فرق الجهد بين طرفيه ($1V$).

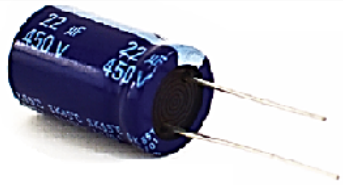
الفاراد وحدة كبيرة نسبيًّا، ومعظم قِيَم المواسعات المستعملة في الدارات الإلكترونية صغيرة جدًّا؛ لذا تُستعمل البادئات (μ, n, p) أمّا المواسعات الفائقة التخزين فتصل مواسعاتها إلى مئات الآلاف من الفاراد.



يبين الشكل مُواسعاتٍ مختلفة المواسعة، وعادةً يُكتب على المواسع رقمين؛ الأول يبين مواسعته، والثاني يُبين أكبر فرق جُهدٍ آمنٍ يُمكن تطبيقُه بين صفيحتيّ المُواسع، فإذا تجاوز الجهد القيمة المحدّدة للمواسع؛ فإنّ ذلك يؤدّي إلى تلفه .

ملاحظات

مثال كتاب :



بناءً على البيانات المثبّتة على المواسع المُبيّن في الشكل ، أُجيب عمّا يأتي:

أ . أُحدّد القيمة العظمى للشحنة التي يُمكن تخزينها بأمان في المواسع.

ب. هل يُمكن تطبيق جهد مقداره (600 V) بين طرفَي المواسع؟ أُوضّح إجابتي.

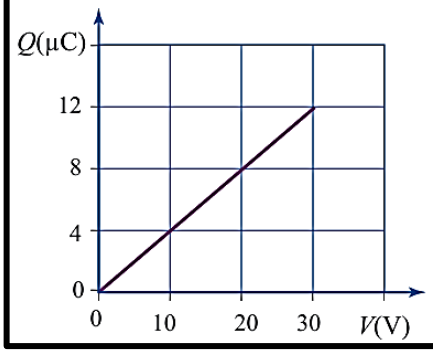
العوامل التي تعتمد عليها مواسعة الموصل :

- شكل الموصل .
- حجم الموصل .
- السماحية الكهربائية للوسط المحيط .

ماذا نعني بقولنا أن المواسعة الكهربائية تساوي ($5F$).

أن شحنة مواسع تساوي ($5c$) ، عندما يكون فرق الجهد بين طرفيه ($1V$).

مثال كتاب :



يُمثّل الرسم البياني في الشكل العلاقة بين شحنة مواسع ذي صفيحتين متوازيتين وجهده، في أثناء عملية الشحن عند وصله مع بطّارية جهدها (40 V)، مستعينًا بالشكل أحسبُ:

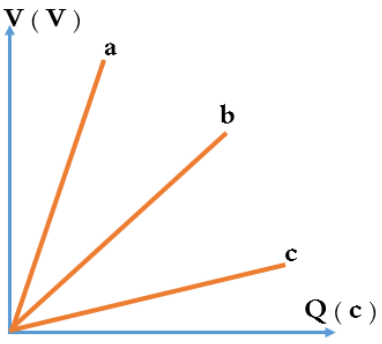
أ . مواسعة المواسع.

ب. شحنة المواسع عندما يكون جهده (18 V).

جـ. شحنة المواسع بعد اكتمال عملية الشحن.

ما كمية الشحنة التي يجب أن يكتسبها مواسع مواسعته $(2\mu F)$ وجهده $(100V)$.

$Q = 2 \times 10^{-4} c$



يمثل الشكل البياني تغير الجهد مع الشحنة لمجموعة من المواسعات :

1. ماذا يمثل الميل في الشكل .
2. رتب المواسعات في الشكل حسب قيمة مواسعتها .

1- الميل يمثل مقلوب المواسعة .

2- $C_c > C_b > C_a$

ملاحظات

ملاحظات

مواسع ذو لوحين متوازيين شحنة أحد لوحيه $10\mu c$, وفرق الجهد بين لوحيه $20V$ ، أوجد :

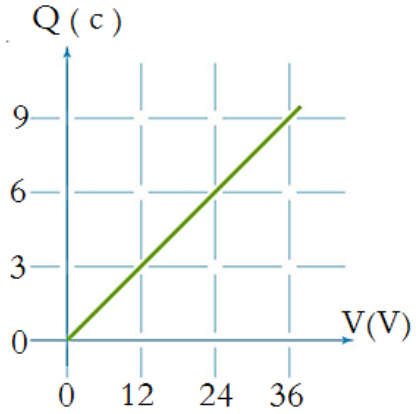
- شحنة المواسع .
- مواسعة المواسع .

- $Q = 10 \times 10^{-6} c$
- $C = 5 \times 10^{-5} F$

أفكّر: هل تؤدّي زيادة جهد المواسع أو شحنته الكهربائيّة إلى زيادة مواسعته؟ أُفسّر إجابتي.

يبين الشكل التمثيل البياني للعلاقة بين جهد مواسع ذي صفيحتين متوازيتين وشحنته ، مستعينا بالشكل احسب :

1. مواسعة المواسع .
2. شحنة المواسع النهائية إذا وصل مع بطارية فرق الجهد بين طرفيها ($30V$).

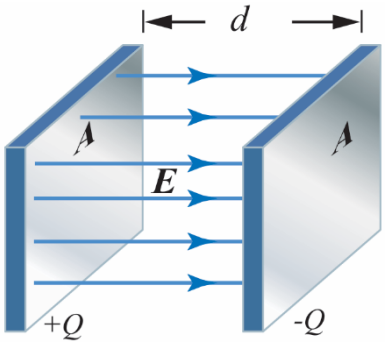


1-$C = 0.25\ F$

2-$Q = 7.5\ c$

مواسعة مواسع ذي صفيحتين متوازيتين

يتكون المواسع ذو اللوحين المتوازيين بأبسط أشكاله من صفيحتين موصلتين متوازيتين متساويتين في المساحة ، تفصل بينهما طبقة من مادة عازلة . ويمكن شحن المواسع بوصل صفيحتيه مع بطارية ، وتمثل البطارية مصدرا للطاقة الكهربائية يعمل على شحن إحدى صفيحتي المواسع بشحنة موجبة ، والأخرى بشحنة سالبة مساوية .



يُبيّن الشكل مواسعًا ذا صفيحتين متوازيتين، مساحة كلّ منهما A وتفصلهما مسافة d والوسط الفاصل بينهما فراغ (أو هواء). عند شحن المواسع ينشأ بين صفيحتيه مجال كهربائيّ منتظم مقداره:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_o}$$

وبما أنّ جهد المواسع V يُعطى بالعلاقة: $V = E.d$ فإنّه يمكن التعبير عن مواسعة المواسع على النحو الآتي:

$$C = \frac{\varepsilon_o A}{d}$$

مواسعة المواسع ذي الصفيحتين المتوازيتين تعتمد على:

1. الأبعاد الهندسية للمواسع (مساحة صفيحتيه، والبعد بينهما)
2. السماحية الكهربائية للمادة العازلة بين صفيحتيه

ستقتصر دراستُنا على المواسع الذي يكون الفراغ أو الهواء عازلًا بين صفيحتيه.

عند شحن المواسع فإن الشحنة تتوزع على سطحي صفيحتيه ، فإذا زادت مساحة الصفيحتين فإن المواسع يصبح قادراعلى استيعاب كمية أكبر من الشحنة ، وبذلك نستنتج أن : المواسع ذا الصفيحة الأكبر يختزن شحنة أكبر ، فتزداد مواسعته بثبات كل من : الجهد الكهربائي (V) والبعد بين صفيحتيه (d) .

إذا تغير البعد بين الصفيحتين مع بقاء البطارية نفسها (بثبات الجهد) فإن مقدار المجال الكهربائي بين صفيحتي المواسع يجب أن يتغير ، وعليه فإن الشحنة على صفيحتيه يجب أن تتغير ، وبذلك نستنتج أن : المواسع يصبح قادرا على تخزين شحنة أكبر إذا قل البعد بين صفيحتيه ، فتزداد مواسعته مع ثبات الجهد الكهربائي (V) .

مثال كتاب :

مواسع ذو صفيحتين متوازيتين، البُعد بينهما (2 mm) ومساحة كل من صفيحتيه ($8 \times 10^{-4}\ m^2$)، يتّصل ببطّارية جهدها (50 V) أحسبُ:

أ . مواسعة المواسع.

ب. جهد المواسع (V') عندما يختزن شحنة (Q') مقدارها (100 pC).

جـ. إذا تضاعفت المسافة بين الصفيحتين مع بقاء البطّارية موصولة بالمواسع، فأحسبُ كلّ من شحنة المواسع (Q'') ومواسعته (C').

تمرين

أستخدم الأرقام: مواسع ذو صفيحتين متوازيتين مواسعته (0.04 nF) والمسافة بين صفيحتيه (0.25 cm)، شُحن حتى أصبح جهده (100 V)، أحسبُ:

أ . مساحة كلّ من صفيحتّي المواسع.

ب. شحنة المواسع.

مواسع هوائي مستو مكون من لوحين متوازيين ، وكل من لوحيه على شكل مربع طول ضلعه ($10cm$) ، والبعد بينهما ($5mm$) ، شحن بشحنة مقدارها ($3.54nc$) ، اوجد :

1. مواسعة المواسع .
2. فرق الجهد بين لوحي المواسع .
3. المجال الكهربائي بين لوحي المواسع .

1- $1.77 \times 10^{-11} F$

2- $200V$

ملاحظات

ملاحظات

3- $E = 4 \times 10^4 N/c$

وصل مواسعان مختلفان مع مصدري فرق جهد كهربائي متماثلين ، جهد كل منهما (V) ، فاكتسب المواسع الأول شحنة (Q) ، واكتسب المواسع الثاني شحنة ($3Q$) . ما النسبة بين مواسعة المواسعين ؟

$C_1 : C_2 = 1 : 3$

مواسع ذو لوحين متوازيين يتصل مع بطارية . إذا أصبح البعد بين صفيحتيه ثلاثة أضعاف ما كان عليه مع بقائه متصلا مع البطارية ، فكيف يتغير كل من : مواسعته ، وفرق الجهد والمجال الكهربائي بين طرفيه ، وشحنته .

المواسعة : تقل إلى الثالث

فرق الجهد : يبقى ثابت

المجال الكهربائي : يقل إلى الثلث

الشحنة : تقل إلى الثلث

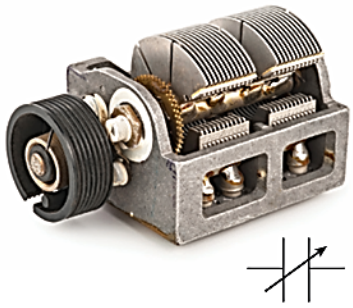
أفكّر: عند وصل طرفي مواسع مشحون ومعزول بمصباح، ماذا يحدث لكل من الكميات الآتية للمواسع: مواسعته، جهده، شحنته، الطاقة الكهربائيّة المختزنة فيه؟

تستخدم المواسعات في لوحة المفاتيح في الحاسوب ، وتكون الطبقة العازلة بين صفيحتي المواسع من مادة لينة قابلة للإنضغاط . وضح ماذا يحدث لمواسعة المواسع عند الضغط على المفتاح .

تقل المسافة بين لوحي المواسع ، فتزداد المواسعة .

الربطُ بالحياة

توجد مواسعات متغيّرة المواسعة تحتوي على عدّة صفائح فلزّية قابلة للدوران حول محور. ومن ثمّ، يمكن التحكّم بمواسعة المواسع عن طريق تغيير عدد الصفائح أو مساحتها أو المسافة بينها، ويُرمز له في الدارات الكهربائيّة بخطّين متوازيين عليهما سهم، أنظرُ إلى الشكل.



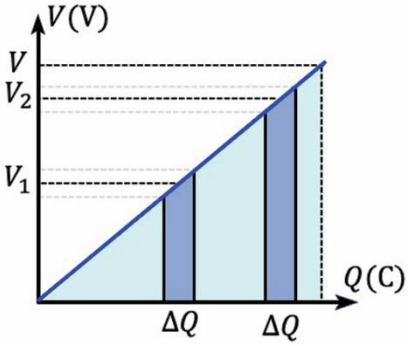
الربط بالحاسوب

استعمال المواسعات في لوحة مفاتيح الحاسوب

يوضع مواسع ذو صفيحتين متوازيتين أسفل كل حرف في لوحة مفاتيح الحاسوب؛ بحيث تُثبّت إحدى صفيحتَي كل مواسع بمفتاح والصفيحة الأخرى تكون ثابتة، وعند الضغط على المفتاح يقلّ البُعد بين الصفيحتين فتزداد مواسعة المواسع؛ وهذا يجعل الدارات الإلكترونية الأخرى في الحاسوب تتعرّف إلى المفتاح الذي جرى الضغط عليه.

الطاقة المختزنة في المواسع :

يعدُّ المواسع المشحون مخزنًا لطاقة الوضع الكهربائية، فعند وصل طرفي بطارية مع صفيحتي مواسع؛ فإنّ البطارية تبذل شغلًا لنقل الشحنات إلى صفيحتيه، وهذا الشغل يساوي طاقة الوضع الكهربائية المُختزنة فيه.



أثناء شحن المواسع يزداد جهده بزيادة الشحنات عليه، والشكل يوضح العلاقة بينهما. ألاحظ أنه عند زيادة شحنة المواسع بمقدار ΔQ عند متوسّط جهد مقداره V_1 فإنّ ذلك يتطلّب شغلًا يساوي مساحة المستطيل ($\Delta Q\ V_1$)، وكلّما ازدادت شحنة المواسع تزداد مساحة المستطيل ($\Delta Q\ V_2$) نتيجة لزيادة الجهد، وهذا يتطلّب بذل شغل أكبر.

والمساحة الكلية تحت المنحنى (المساحة المغلقة بين الخط المستقيم والمحور الأفقي) التي تُمثّل مساحة المثلث تساوي الشغل الكلي W المبذول في شحن المواسع إلى شحنة Q وجهد V؛ أي إنّ:

$$W = \frac{1}{2}QV$$

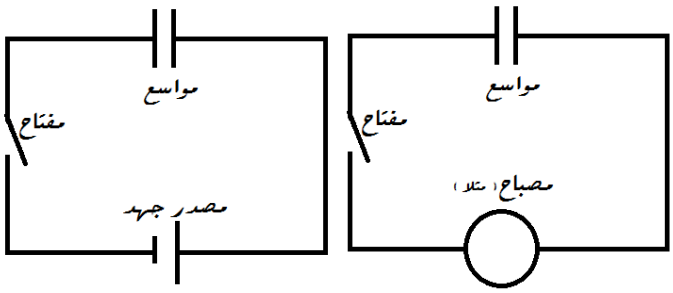
هذا الشغل المبذول في شحن المواسع يساوي طاقة الوضع الكهربائيّة المختزنة في المواسع:

$$PE = \frac{1}{2}QV$$

$$PE = \frac{1}{2}CV^2$$

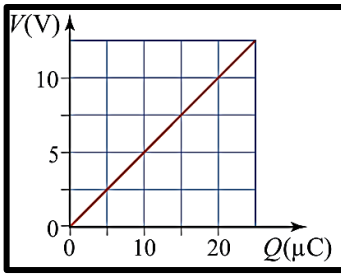
$$PE = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C}$$

إذا فُصِلت البطّارية عن المواسع - بعد شحنه - ووُصِل طرفا المواسع بجهاز كهربائيّ ضمن دارة كهربائيّة؛ فإنّ الطاقة الكهربائيّة المختزنة في المواسع تتحوّل إلى شكل آخر من الطاقة، إذ تنتقل الإلكترونات من صفيحة المواسع السالبة إلى الصفيحة الموجبة على شكل تيّار كهربائيّ في الدارة؛ يتلاشى بالتدريج خلال مدّة زمنية قصيرة لتصبح شحنة المواسع النهائية صفرًا، وتُسمى هذه العملية تفريغ المواسع .



ملاحظات

مثال كتاب :



يُمثّل الرسم البياني في الشكل العلاقة بين جهد المواسع والشحنة الكهربائيّة المختزنة فيه، بناءً عليه أحسبُ:

أ. مواسعة المواسع.

ب. الطاقة الكهربائيّة المختزنة في المواسع عندما يصبح جهده (10 V).

مواسع ذو صفيحتين متوازيتين مساحة كل منهما ($25cm^2$) ، والبعد بينهما ($8{,}85mm$) ، شحن حتى أصبح جهده ($100V$):

1. احسب الطاقة المختزنة في المواسع .
2. إذا أصبح البعد بين لوحي المواسع ($17.7mm$) ، مع بقاء المواسع متصلا مع البطارية نفسها ، فاحسب الطاقة المختزنة في المواسع .

1- $PE = 1.25 \times 10^{-8}J$

2- $6.25 \times 10^{-9}J$

علل : تقل الطاقة المختزنة في المواسع عندما تقل مواسعته ؟

عندما تقل المواسعة مع بقاء الجهد ثابتا يحدث تفريغ لجزء من شحنة المواسع إلى البطارية ، فتقل الطاقة المختزنة في المواسع .

مواسعان ، مواسعة الأول ($2\mu F$) وجهده (V) ، والثاني مواسعته ($4\mu F$) وجهده ($\frac{V}{2}$). أي المواسعين يختزن طاقة أكبر ؟

المواسع الأول

مواسع شحن ثم فصل عن البطارية ، ثم أصبح البعد بين صفيحتيه ضعفي ما كان عليه ، بين ماذا يحدث للطاقة المختزنة فيه ؟

تبقى الشحنة ثابتة ، وتقل المواسعة إلى النصف ، فتتضاعف الطاقة المختزنة .

مواسع ذو صفيحتين متوازيتين ، مساحة كل صفيحة ($5 \times 10^{-6}m^2$) ، والبعد بينهما ($1{,}77 \times 10^{-4}m$) :

أ) احسب مواسعة المواسع .

ب) إذا وصل المواسع مع بطارية جهدها ($12 \times 10^{-2}V$) حتى شحن تماما ، احسب ما يأتي :

- الشحنة النهائية للمواسع .
- الكثافة السطحية للشحنة على كل من صفيحتيه .
- فرق الجهد بين نقطة تقع في منتصف المسافة بين الصفيحتين ونقطة تقع على الصفيحة الموجبة .

ج) بعد شحن المواسع تماما ، فصل عن البطارية ووصل مع مصباح كهربائي لتفريغ شحنته ، احسب مقدار الطاقة المختزنة في المواسع في اللحظة التي تنخفض عندها شحنة المواسع إلى 70 % من الشحنة الأصلية ؟

ملاحظات

أ) $C = 2.5 \times 10^{-13} F$

ب) $Q = 3 \times 10^{-14} J \leftarrow$

$\sigma = 6 \times 10^{-9} c \leftarrow$

$\Delta V = 6 \times 10^{-2} V \leftarrow$

ج) $PE = 882 J$

مواسعان هوائيان متساويان في مساحة الصفائح ، البعد بين صفيحتي المواسع الثاني نصف البعد بين صفيحتي المواسع الأول ، وشحنا باستخدام البطارية نفسها . قارن بين المواسعين من حيث : الشحنة ، المجال الكهربائي ، الكثافة السطحية للشحنة .

$Q_2 = 2Q_1 , E_2 = 2E_1 , \sigma_2 = 2\sigma_1$

مواسع ذو لوحين متوازيين مساحة كل من لوحيه (A) والمسافة بين لوحيه (d) وفرق الجهد بين طرفيه (V)، بين ما يحدث عند مضاعفة الجهد 3 مرات لكل من : الشحنة ، المواسعة ، المجال ، الطاقة .

الشحنة : تتضاعف 3 مرات

المواسعة : تبقى ثابتة

المجال الكهربائي : يتضاعف 3 مرات

الطاقة : تتضاعف 9 مرات

مواسع ذو لوحين متوازيين مساحة كل من لوحيه (A) والمسافة بين لوحيه (d) وفرق الجهد بين طرفيه (V) ، بين ما يحدث عند مضاعفة المسافة بين لوحي المواسع مرتين مع بقاء المواسع متصلا بالمصدر لكل من : الشحنة ، المواسعة ، الجهد ، المجال ، الطاقة .

الشحنة : تقل إلى النصف

المواسعة : تقل إلى النصف

الجهد : يبقى ثابت

المجال الكهربائي : يقل إلى النصف

الطاقة : تقل إلى النصف

مواسع ذو لوحين متوازيين مساحة كل من لوحيه (A) والمسافة بين لوحيه (d) وصل مع فرق جهد (V) ثم فصل عن المصدر ، بين ما يحدث عند مضاعفة مساحة كل من لوحي المواسع 4 مرات لكل من : الشحنة ، المواسعة ، الجهد ، المجال ، الطاقة .

الشحنة : ثابتة

المواسعة : تتضاعف 4 مرات

الجهد : يقل إلى الربع

المجال الكهربائي : يقل إلى الربع

الطاقة : تقل إلى الربع

ملاحظات

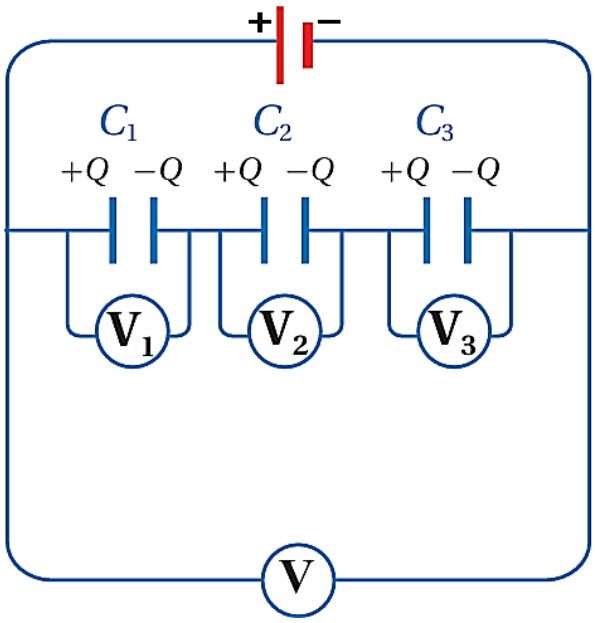
توصيل المواسعات

تُصنع المواسعات بحيث تكون لها مواسعة محددة، وتعمل على فرق جُهد محدد، وقد يلزم أحيانًا في دارة إلكترونية قيمة لمواسعة غير متوافرة، عندئذٍ يُمكن الحصول عليها بوصل مجموعة من المواسعات معًا.

توصل المواسعات معًا بعدّة طرائق منها طريقتان بسيطتان وشائعتان، هما التوصيل على التوالي والتوصيل على التوازي أو الجمع بينهما، ويُطلق على المواسعة الكلية لمجموعة مواسعات تتّصل معًا في دارة كهربائيّة المواسعة المكافئة .

التوصيل على التوالي

يُبيّن الشكل ثلاثة مواسعات (C_1, C_2, C_3) تتّصل معًا على التوالي مع بطّارية، تُشحن صفيحة المواسع الثالث الموصولة مع القطب السالب للبطّارية بشحنة سالبة $(-Q)$، بينما تُشحن صفيحة المواسع الأول الموصولة مع القطب الموجب للبطّارية بشحنة موجبة $(+Q)$، أمّا بقية الصفائح بينهما فتُشحن بالحث؛ بحيث تشحن الصفيحة اليسرى للمواسع C_3 بشحنة موجبة $+Q$ والصفيحة اليمنى للمواسع C_2 بشحنة سالبة $-Q$ وهكذا لبقية الصفائح، بمعنى أنّ شحنة المواسعات متساوية وتساوي الشحنة التي تحملها المواسعة المكافئة.أمّا المجموع الجبري لجهود المواسعات الثلاثة فيساوي جهد البطّارية V :



$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

وتكون الشحنة على المواسعات جميعها ثابتة ، وتساوي الشحنة الناتجة من المصدر :

$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3$$

وبما أنّ $(C = \frac{Q}{V})$ فإنّ المواسعة المكافئة تحسب من العلاقة :

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

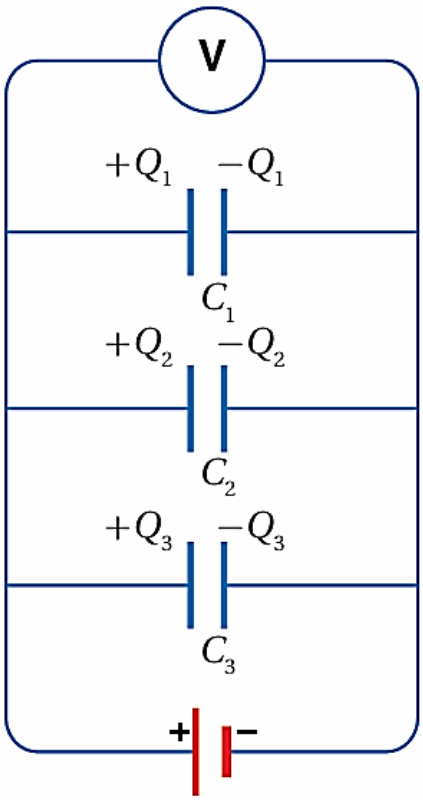
انتبه :

المواسعة المكافئة على التوالي أصغر من أصغر مواسعة .

ملاحظات

التوصيل على التوازي

يُبيّن الشكل ثلاث مواسعات (C_1, C_2, C_3) تتّصل على التوازي مع بطّارية، إذ تتّصل صفيحتا كلّ مواسع مع قطبَي البطارية نفسها؛ أي إنّ الصفائح المتصلة مع القطب الموجب للبطارية تُشحن بشحنة موجبة، والصفائح المتصلة مع القطب السالب تُشحن بشحنة سالبة، بحيث يكون فرق الجهد بين صفيحتَي كلّ مواسع متساويًا ويساوي جهد البطارية V (قراءة الفولتميتر).



$$V = V_1 = V_2 = V_3$$

وتتوع الشحنة الكلية على المواسعات كما في العلاقة الآتية :

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

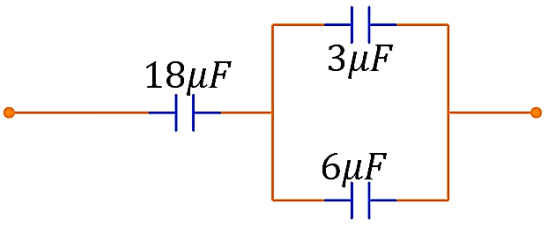
وبما أنّ $Q = CV$ فإنّ المواسعة المكافئة تحسب من العلاقة :

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + V_3$$

انتبه :

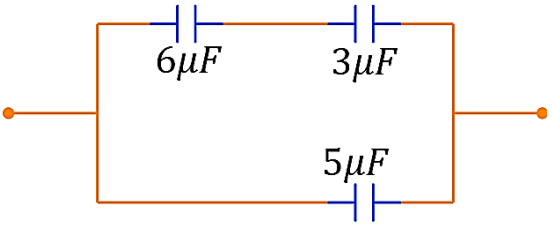
المواسعة المكافئة على التوالي أكبر من أكبر مواسعة .

احسب المواسعة المكافئة في الشكل المجاور .



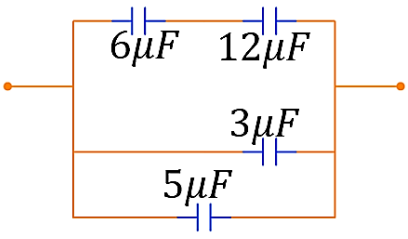
$C_{eq} = 6\mu F$

احسب المواسعة المكافئة في الشكل المجاور .



$C_{eq} = 7\mu F$

احسب المواسعة المكافئة في الشكل المجاور .

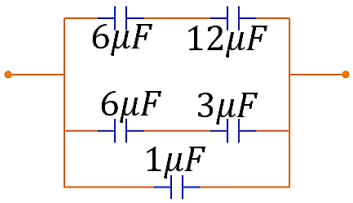


$C_{eq} = 12\mu F$

ملاحظات

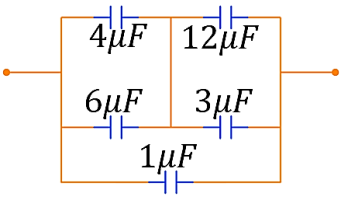
ملاحظات

احسب المواسعة المكافئة في الشكل المجاور .



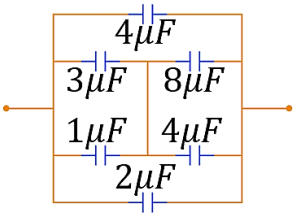
$C_{eq} = 7\mu F$

احسب المواسعة المكافئة في الشكل المجاور .



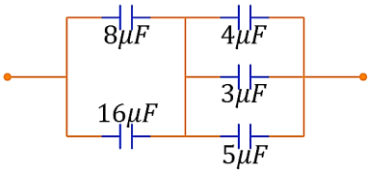
$C_{eq} = 7\mu F$

احسب المواسعة المكافئة في الشكل المجاور .



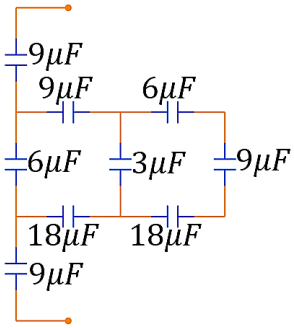
$C_{eq} = 9\mu F$

احسب المواسعة المكافئة في الشكل المجاور .



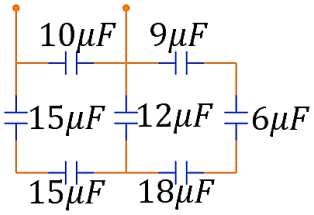
$C_{eq} = 8\mu F$

احسب المواسعة المكافئة في الشكل المجاور .



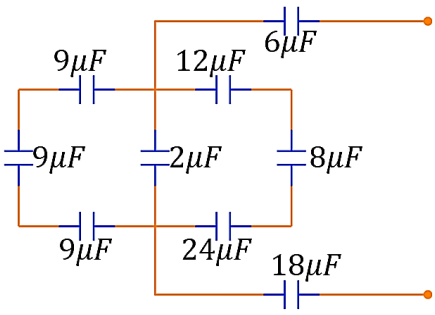
$C_{eq} = 3\mu F$

احسب المواسعة المكافئة في الشكل المجاور .



$C_{eq} = 15\mu F$

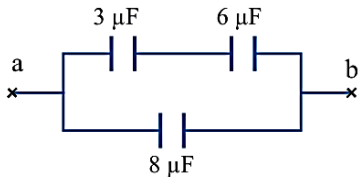
احسب المواسعة المكافئة في الشكل المجاور .



$C_{eq} = 3\mu F$

مثال كتاب :

يُمثّل الشكل جزءًا من دارة كهربائيّة يحتوي على (3) مواسعات، أحسبُ المواسعة المكافئة للمواسعات الثلاثة.



مجموعة من المواسعات عددها (n) . وصلت مرة على التوالي ومرة على التوازي ، فوجد أن المواسعة المكافئة للمجموعة عند وصلها على التوازي (64) ضعف المواسعة المكافئة عند وصلها على التوالي . أوجد عدد هذه المواسعات .

$n = 8$

انتبه :

المواسعة المكافئة لمجموعة من المواسعات المتساوية التي تتصل معا على التوالي وعددها (n) تساوي :

$$C_{eq} = \frac{C}{n}$$

المواسعة المكافئة لمجموعة من المواسعات المتساوية التي تتصل معا على التوازي وعددها (n) تساوي :

$$C_{eq} = nC$$

مثال كتاب :

مواسعان، مواسعة الأول (5 μF) والثاني (10 μF) وُصِلا على التوازي مع بطّارية جهدها (30 V)، أحسبُ:

أ . المواسعة المكافئة.

ب. شحنة كلّ من المواسعين الأول والثاني.

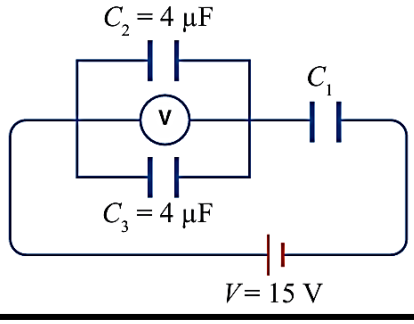
مثال كتاب :

يُبيّن الشكل ثلاث مواسعات تتّصل مع بطّارية جهدها (15 V)، إذا كانت قراءة الفولتيمتر (10 V)؛ فأحسبُ:

أ. جهد المواسع C_1.

ب. الطاقة الكهربائيّة المختزنة في المواسع C_2.

جـ. مواسعة المواسع C_1.



تنبيه

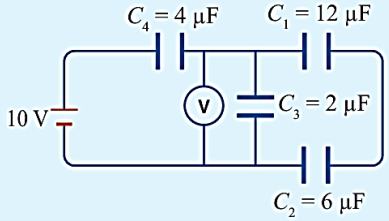
أستخدم الارقام: تتّصل (4) مواسعات مع بطّارية جهدها (10 V) كما في الشكل، أحسبُ:

أ. المواسعة المكافئة.

ب. شحنة المواسع الرابع.

جـ. قراءة الفولتميتر.

د. الطاقة الكهربائيّة المختزنة في المواسع الثالث.

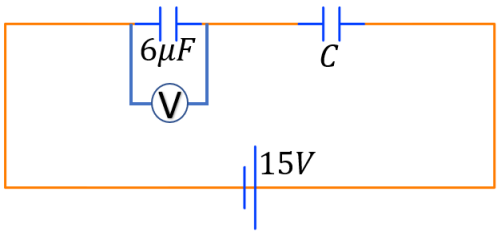


ملاحظات

ملاحظات

في الشكل المبين جانبا ، إذا كانت قراءة الفولتميتر تساوي $(10V)$ ، اوجد :

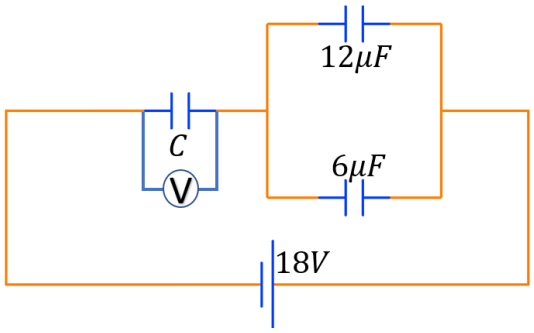
- المواسعة المجهولة (C) .
- الطاقة المختزنة في المواسعة (C) .



- $C = 12 \times 10^{-6} F$
- $PE = 3 \times 10^{-4} J$

في الشكل المبين جانبا مجموعة من المواسعات المتصلة معا ، إذا كانت قراءة الفولتميتر تساوي $(12V)$ ، اوجد :

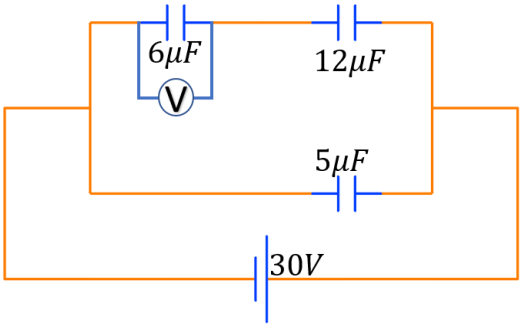
- الشحنة الكهربائية على المواسع ($6\mu F$) .
- المواسعة المجهولة (C) .
- الشغل الكهربائي المبذول لشحن المجموعة .



- $Q = 3.6 \times 10^{-5} J$
- $C = 9 \times 10^{-6} F$
- $W = 1.94 \times 10^{-3} J$

في الشكل المبين جانبا مجموعة من المواسعات المتصلة معا ، اوجد :

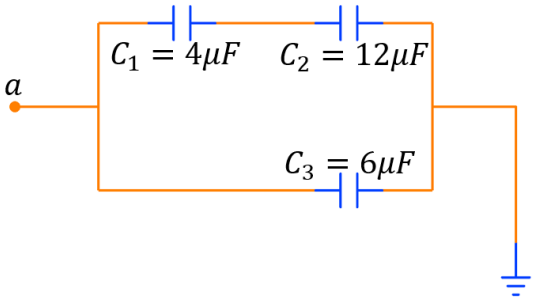
- قراءة الفولتميتر V .
- الطاقة المختزنة على المواسع ($5\mu F$) .



- $V = 20V$
- $PE = 2.25 \times 10^{-3} J$

في الشكل المبين جانبا مجموعة من المواسعات المتصلة معا ، فإذا علمت أن الشحنة على المواسع (C_2) تساوي ($48\mu c$) ، اوجد :

- طاقة الوضع على المواسع (C_3) .
- جهد النقطة (a) .

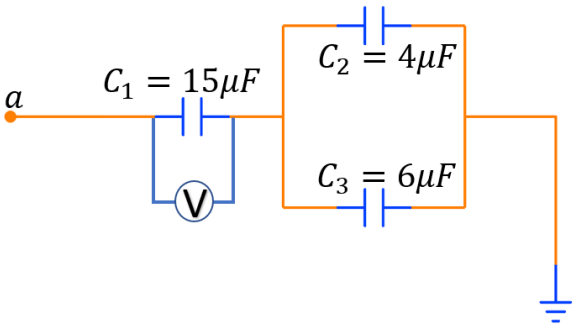


- $PE = 7.68 \times 10^{-4} J$
- $V_a = 16V$

ملاحظات

مجموعة من المواسعات المتصلة معا كما في الشكل ، فإذا كان جهد النقطة ($V_a = 20V$) ، أوجد ما يأتي :

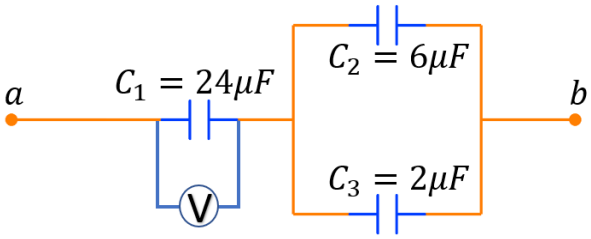
- قراءة الفولتميتر (V) .
- الطاقة المختزنة في المواسع (C_3) .



- $V = 8V$
- $PE = 4.32 \times 10^{-4} J$

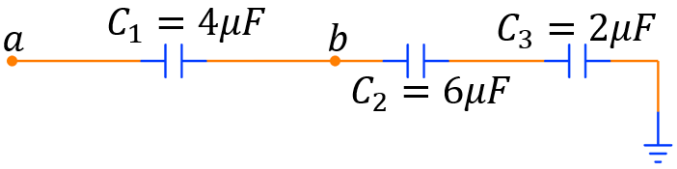
تتصل مجموعة من المواسعات كما هو موضح جانبا ، فإذا علمت أن ($V_a = 12V$) ، وقراءة الفولتميتر ($6V$) ، وباعتبار أن ($V_a > V_b$) ، أوجد ما يأتي :

- الطاقة المختزنة في المواسع (C_2) .
- جهد النقطة (b) .



- $PE = 3.24 \times 10^{-4} J$
- $V_b = -18V$

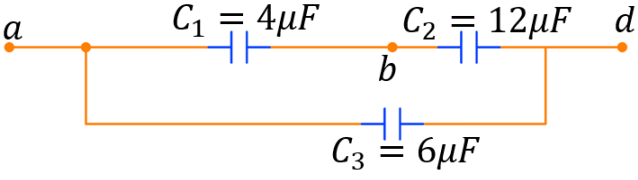
في الشكل المبين جانبا ، إذا كان فرق الجهد الكهربائي $V_a - V_b = 6V$ ، أوجد جهد كل من النقطتين (a , b) .



$V_a = 22V$, $V_b = 16V$

جزء من دارة كهربائية تتصل فيها المواسعات المبينة ، إذا كانت الطاقة المختزنة في المواسع (C_2) تساوي ($9.6 \times 10^{-5} J$) ، احسب :

- الشحنة على المواسع (C_3) .
- فروق الجهد الكهربائية $(V_a - V_b), (V_b - V_d), (V_a - V_d)$.



- $Q = 9.6 \times 10^{-5} C$
- $V_a - V_b = 12V$, $V_b - V_d = 4V$, $V_a - V_d = 16V$

مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسة:** أُوضّح المقصود بكلّ من المفاهيم والمصطلحات الآتية: المواسع الكهربائيّ، المواسعة الكهربائيّة، المواسعة المكافئة.

2. **أستنتج:** مواسع ذو صفيحتين متوازيتين، كيف يمكن زيادة مواسعته إلى (4) أضعاف؟

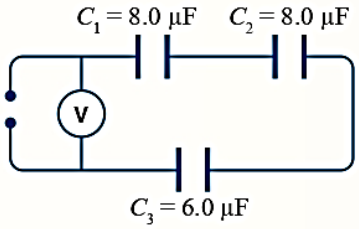
3. **أستنتج:** ماذا نعني بقولنا مواسعة مواسع (5 μF)؟

4. **أستخدم الأرقام:** أحسبُ الطاقة الكلّية المختزنة في ثلاثة مواسعات مواسعة كل منها (30 μF) تتّصل على التوازي مع بطّارية جهدها (12 V).

5. **أصدر حكما:** في أثناء عمل مهندس في صيانة الحواسيب، لزمه مواسع مواسعته (5 nF) وليس لديه سوى مواسعين مواسعة كل منهما (10 nF). ما طريقة التوصيل الأنسب للمواسعين للحصول على المواسعة المطلوبة؟ أُوضّح إجابتي.

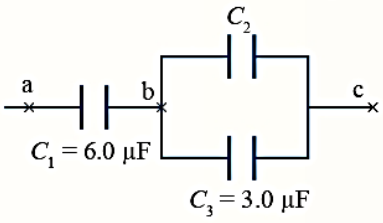
6. **أستخدم الأرقام:** مواسع ذو صفيحتين متوازيتين مساحة كلّ من صفيحتيه ($2.0 \times 10^{-3}\ m^2$) والبُعد بينهما (0.10 cm)، مشحون بشحنة مقدارها (6.0 nC) ومفصول عن مصدر الطاقة (البطارية)، أحسبُ:
   أ . مواسعة المواسع.
   ب. جهد المواسع.
   جـ. إذا أصبحت المسافة بين صفيحتيه نصف قيمتها الابتدائية، ماذا يحدث لكلّ من: مواسعة المواسع وجهده، والطاقة الكهربائيّة المختزنة فيه.

7. **أستخدم الأرقام:** تتّصل ثلاثة مواسعات مع مصدر طاقة كما في الشكل المجاور. إذا علمتُ أنّ شحنة المواسع C_3 تساوي $3.0 \times 10^{-5}\ C$ فأحسبُ:



   أ . المواسعة المكافئة.
   ب. قراءة الفولتميتر.

8. **التفكير الناقد:** يُمثّل الشكل المجاور جزءًا من دارة كهربائيّة تحتوي على ثلاثة مواسعات. إذا علمتُ أنّ فرق الجهد بين النقطتين a وc يساوي (20 V)، وبين النقطتين b و c يساوي (12 V)، فأحسبُ:



   أ . شحنة المواسع C_1.
   ب. مواسعة المواسع C_2.
   جـ. الطاقة الكلّية المختزنة في المواسعات الثلاثة.

9. أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة لكل جملة مما يأتي:

1. مواسع ذو صفيحتين متوازيتين، متصل ببطارية. عندما تزداد مساحة كل من صفيحتيه إلى مثليّ ما كانت عليه ويقل البعد بينهما إلى النصف مع بقائه متصلًا بالبطارية، فإن الطاقة المختزنة فيه:

أ . تقل إلى النصف. ب. تقل إلى الربع. جـ. تزداد إلى المثلين. د. تزداد أربعة أمثال.

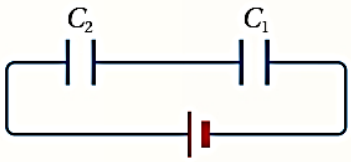
2. مواسعان مواسعتيهما $(C_1 = 6\ \mu F, C_2 = 4\ \mu F)$ يتصلان على التوازي مع بطارية، إذا كانت الطاقة المختزنة في المواسع الأول $(3\ \mu J)$ فإن الطاقة المختزنة في المواسع الثاني بوحدة μJ:

أ . 2 ب. 4 جـ. 6 د. 3

3. مواسع ذو صفيحتين متوازيين مواسعته C، إذا ازدادت مساحة كلّ من صفيحتيه إلى مثلَي ما كانت عليه، وقلّت المسافة بينهما إلى النصف؛ فإنّ مواسعته تُصبح:

أ . $\frac{C}{2}$ ب. $\frac{C}{4}$ جـ. $4C$ د. C

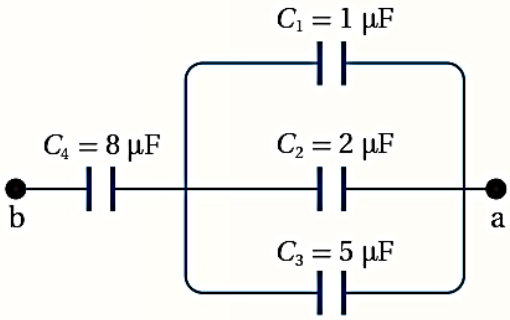
4. في الشكل المجاور إذا كانت مواسعة المواسع الثاني مثلي مواسعة المواسع الأول فإن نسبة الطاقة المختزنة في المواسع الأول إلى الطاقة المختزنة في المواسع الثاني $\frac{PE_1}{PE_2}$ تساوي:



أ . $\frac{1}{4}$ ب. $\frac{1}{2}$

جـ. 2 د. 4

5. أربع مواسعات مشحونة تتصل معًا كما هو مبين في الشكل. معتمدًا على الشكل وبياناته وإذا علمت أن قيم المواسعة بالميكروفاراد، وأن المواسع (C_4) شحنته تساوي $(48\ \mu C)$، فإن فرق الجهد بين النقطتين (a) و (b) بوحدة (V):



أ . 4 ب. 6

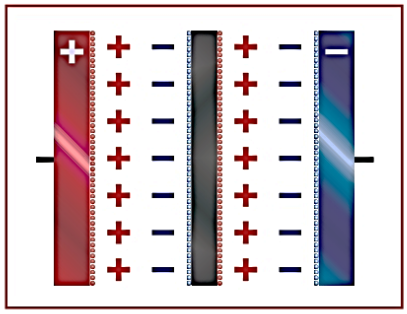
جـ. 12 د. 24

الإثراء والتوسّع

المواسع الفائق Supercapacitor

المواسعات الفائقة Supercapacitors أو Ultracapacitors كلّها تسميات لنمط واحد من المواسعات، وهي تكنولوجيا حديثة في مجال تخزين الطاقة. فما المواسعات الفائقة؟ وما مميّزاتها؟

بدأت عملية تطوير المواسعات منذ عشرات السنين لتخزين طاقة أكبر عن طريق المواسعات الفائقة، التي تُدعى أحيانًا المواسعات ذات الطبقة المضاعفة Double layer capacitors (DLC) كونها الأكثر انتشارًا، أنظرُ إلى الشكل المجاور. وهي مواسعات ذات مواسعة عالية جدًّا تصل إلى مئات الآلاف من الفاراد وبحجم مماثل للمواسعات العادية، ولكنّ جهدها قليل يتراوح بين (2.5 - 2.75 V) مقارنة مع جهود المواسعات العادية كما في الشكل، ولكن يُمكن توصيل عدّة مواسعات على التوالي للحصول على جهد أكبر.



عند المقارنة بين المواسعات الفائقة والبطّاريات المستعملة حاليًّا مثل بطّارية الليثيوم؛ فإنّ المواسعات الفائقة تتميّز عن البطّاريات بما يأتي:

- زمن الشحن والتفريغ قليل جدًّا.
- عدد دورات الشحن والتفريغ التي يُمكن إجراؤها قد تصل إلى مليون دورة، بينما لا تصل في البطارية إلى أكثر من (1000) دورة.
- آمنة ولا تحتوي على موادّ سامّة في تركيبها، وتكلفتها المادّية قليلة.
- قدرتها على تحمّل تغيّر درجات الحرارة (-50°C) – (80°C).

مواسع عادي

مواسع فائق المواسعة

ما المجال الذي تُستخدم فيه المواسعات الفائقة؟

تُستخدم في مجال تخزين الطاقة.

ما النوع الأكثر انتشارًا من المواسعات الفائقة؟

مواسعات الطبقة المزدوجة الكهربائية(DLC)

لماذا تُسمى "طبقة مزدوجة"؟

لأنها تعتمد على تشكّل طبقتين من الشحنات عند الأقطاب.

ملاحظات

كيف تقارن سعة المواسعات الفائقة بسعة المواسعات العادية؟

سعتها أعلى بكثير وقد تصل إلى مئات آلاف الميكروفاراد.

ما مدى جهد المواسع الفائق الواحد؟

بين 2.5 فولت و2.75 فولت تقريبًا.

لماذا توصل المواسعات الفائقة في سلسلة؟

للحصول على جهد أعلى لأن جهد الواحد منها منخفض.

كيف تقارن الطاقة المختزنة في المواسع الفائق بالبطارية؟

الطاقة المختزنة أقل من طاقة البطارية.

كيف يقارن زمن الشحن والتفريغ بين المواسعات الفائقة والبطاريات؟

زمن الشحن والتفريغ في المواسعات الفائقة قليل جدًا مقارنة بالبطاريات.

كم عدد دورات الشحن والتفريغ للمواسع الفائقة؟

يمكن أن تصل إلى مليون دورة.

هل تعتبر المواسعات الفائقة آمنة؟

نعم، لأنها لا تحتوي على مواد سامة في تركيبها.

ما مدى تحمل المواسعات الفائقة لدرجات الحرارة؟

تتحمل من $-50°C$ إلى $80°C$.

اذكر ميزة رئيسية تجعلها مناسبة للتطبيقات السريعة.

يمكن شحنها وتفريغها بسرعة كبيرة جدًا.

ما مبدأ عمل المواسعات الفائقة؟

تخزين الشحنة في طبقة مزدوجة عند سطح الأقطاب.

لماذا تُعد بديلًا للبطاريات في بعض التطبيقات؟

لأنها تشحن بسرعة وتدوم لعدد كبير من الدورات.

أيهما له جهد أعلى: المواسع العادي أم الفائق؟

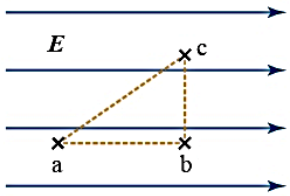
المواسع العادي عادة له جهد أعلى من المواسع الفائق.

ملاحظات

مراجعة الوحدة

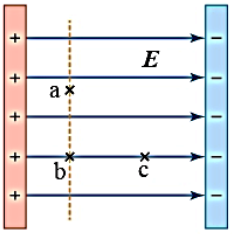
1. أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة لكلّ جملة ممّا يأتي:

1. تزداد طاقة الوضع الكهربائيّة لبروتون في مجال كهربائيّ منتظم، كما في الشكل، عند انتقاله:



أ. من النقطة c إلى النقطة b.
ب. من النقطة b إلى النقطة c.
جـ. من النقطة a إلى النقطة c.
د. من النقطة c إلى النقطة a.

2. ثلاث نقاط في مجال كهربائيّ منتظم كما في الشكل، أيّ المقارنات الآتية صحيحة بين جهد تلك النقاط:

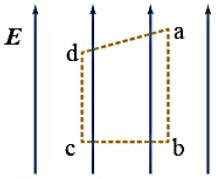


أ. $V_a = V_b = V_c$
ب. $V_a > V_b = V_c$
جـ. $V_a = V_b > V_c$
د. $V_a = V_b < V_c$

3. الجهد الكهربائيّ عند نقطة تقع على سطح موصل كروي مشحون ومعزول نصف قطره R يساوي (400 V). ما مقدار الجهد الكهربائيّ عند نقطة تبعد مسافة $\frac{R}{2}$ عن مركزه؟

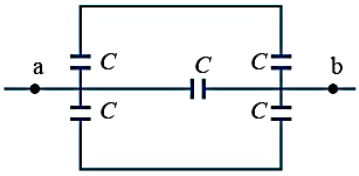
أ. 200 V
ب. 400 V
جـ. 800 V
د. 0 V

4. يُبيّن الشكل (4) نقاط على رؤوس شبه منحرف في مجال كهربائيّ منتظم، النقطتان اللتان يكون فرق الجهد بينهما يساوي صفرًا هما:



أ. (a,b)
ب. (b,c)
جـ. (c,d)
د. (d,a)

5. مقدار المواسعة المكافئة لمجموعة المواسعات بين النقطتين (a ,b) في الشكل يساوي:

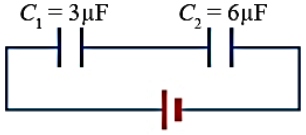


أ. $\frac{C}{2}$
ب. C
جـ. $2\,C$
د. $5\,C$

6. ما التغيّر الذي يحدث للطاقة المختزنة في مواسع عند زيادة فرق الجهد بين صفيحتيه إلى المثلين مع بقاء مواسعته ثابتة؟

أ. تزداد إلى المثلين.
ب. تقلّ إلى النصف.
جـ. تزداد إلى أربعة أمثال.
د. تقلّ إلى الربع.

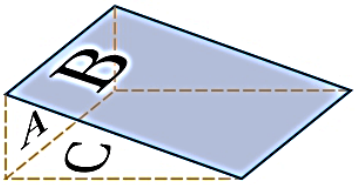
7. مواسعان يتّصلان مع بطّارية كما في الشكل، عند المقارنة بين المواسعين؛ أيّ العبارات الآتية صحيحة؟



أ. $V_2 = 2V_1$
ب. $V_2 = V_1$
جـ. $Q_2 = 2Q_1$
د. $Q_2 = Q_1$

مراجعة الوحدة

8. يبين الشكل سطحا مغلقا على شكل منشور ثلاثي، وضع في مجال كهربائي منتظم، فكان التدفق عبر الأسطح الثلاثة كما يأتي: التدفق عبر السطح (A) صفر، التدفق عبر السطح (B) سالب، التدفق عبر السطح (C) موجب، التدفق الكلي صفر.

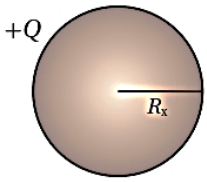


بناء على هذه النتيجة فإن اتجاه المجال يكون باتجاه محور:

أ. $+x$ ب. $-x$

جـ. $+y$ د. $-y$

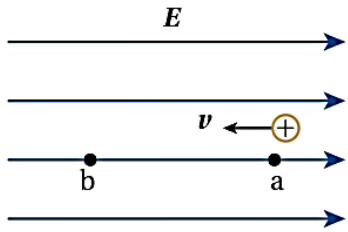
9. كرتان موصلتان (X, Y) مشحونتان بمقدار الشحنة نفسه. الكثافة السطحية للشحنة على سطح الكرة (X) تساوي (σ) إذا علمت أن نصف قطر الكرة (X) مثلي نصف قطر الكرة (Y)، فإن مقدار المجال الكهربائي عند نقطة تقع بالقرب من سطح الكرة (Y) بدلالة (σ) يساوي:



أ. $\frac{4\sigma}{\varepsilon_\circ}$ ب. $\frac{2\sigma}{\varepsilon_\circ}$

جـ. $\frac{\sigma}{2\varepsilon_\circ}$ د. $\frac{\sigma}{4\varepsilon_\circ}$

10. انطلق جسيم شحنته موجبة من النقطة (a) داخل مجال كهربائي منتظم بسرعة ابتدائية (1×10^5 m/s) بالاتجاه المبين في الشكل، وتوقف عند النقطة (b) بعد مرور (2.5×10^{-6} s). بإهمال قوة الجاذبية الأرضية، فإن تسارع الجسيم مقدارًا واتجاهًا يساوي:



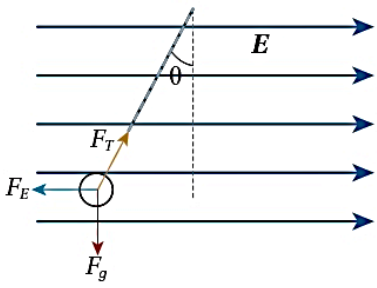
أ. 2.5×10^{11} m/s^2, $+x$

ب. 2.5×10^{11} m/s^2, $-x$

جـ. 4×10^{10} m/s^2, $+x$

د. 4×10^{10} m/s^2, $-x$

11. كرة صغيرة مشحونة وزنها (F_g)، علقت رأسيا بخيط داخل مجال كهربائي منتظم مقداره (E)، فاتزنت كما هو مبين في الشكل. مقدار شحنة الكرة، ونوعها يساوي:

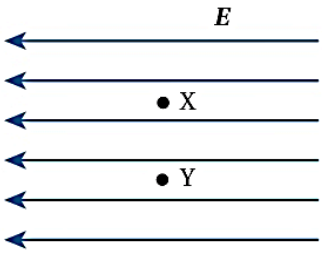


أ. $\frac{F_g\tan\theta}{E}$، موجبة ب. $\frac{F_g\tan\theta}{E}$، سالبة

جـ. $\frac{E}{F_g\tan\theta}$، موجبة د. $\frac{E}{F_g\tan\theta}$، سالبة

مراجعة الوحدة

12. جسيمان (X, Y) مشحونان بشحنتين متساويتين، أطلقا من السكون داخل مجال كهربائي منتظم، من النقطة نفسها، كما يبين الشكل. وبعد مرور مدة من الزمن وُجد أن سرعة الجسيم (X) أكبر من سرعة الجسيم (Y). المعلومة المؤكدة التي أستنتجها عن الجسيمين:



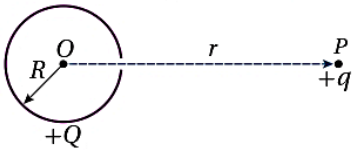
أ . القوة الكهربائية المؤثرة في الجسيم (X) أقل من المؤثرة في الجسيم (Y).

ب. الطاقة الحركية للجسيم (X) أقل من الطاقة الحركية للجسيم (Y).

جـ. كتلة الجسيم (X) أقل من كتلة الجسيم (Y).

د . شغل القوة الكهربائية على الجسيم (X) أقل من الشغل على الجسيم (Y).

13. شحنة نقطية $(+q)$ موضوعة عند نقطة (P) تبعد مسافة (r) عن مركز كرة مجوفة غير موصلة، نصف قطرها (R)، ومشحونة بشحنة $(+Q)$ تتوزع على سطحها بانتظام، ويوجد على سطحها فتحة صغيرة كما هو مبين في الشكل. لنقل الشحنة $(+q)$ من النقطة (P) إلى مركز الكرة (O) بسرعة ثابتة، بفعل قوة خارجية فإن شغل القوة الخارجية يساوي :



أ . $\frac{kqQ}{r}$ ب. $\frac{kqQ}{R}$

جـ. $\frac{k(Q-q)}{R}$ د . $kqQ(\frac{1}{R}-\frac{1}{r})$

14. بالاعتماد على البيانات المثبتة على المواسع الكهربائي المبين في الشكل فإن شحنة المواسع وجهده على الترتيب:

أ . $Q=0, V=0$

ب. $Q=3\ \mu C, V=6\ V$

جـ. $Q=6\ \mu C, V=12\ V$

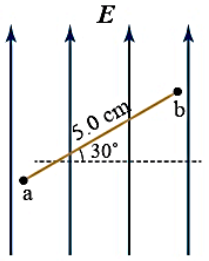
د . $Q=3\ \mu C, V=12\ V$

15. مواسعان البعد بين صفيحتي كل منهما متساوي، ومساحة كل من صفيحتي الأول (A) والثاني $(3A)$. وصلا مع بطارية على التوازي، إذا كان المجال الكهربائي بين صفيحتي المواسع الأول (E) وشحنته (Q)، فإن مقدار المجال والشحنة للمواسع الثاني:

أ . E, Q ب. $E, 3Q$

جـ. $\frac{1}{3}E, Q$ د. $\frac{1}{3}E, 3Q$

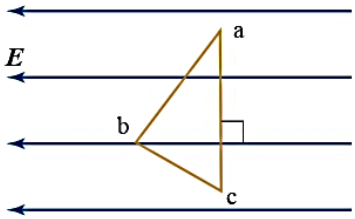
مراجعة الوحدة



2 . **أستخدم الأرقام:** مجال كهربائيّ منتظم مقداره $3.0 \times 10^4\ \mathrm{N/C}$ كما في الشكل، مستعينًا بالشكل أحسبُ:

أ . فرق الجهد $(V_a - V_b)$.

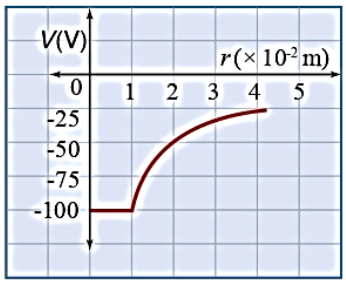
ب. التغيّر في طاقة الوضع الكهربائيّة لشحنة مقدارها $(-6.0\ \mathrm{pC})$ عند انتقالها من النقطة a إلى النقطة b.



3 . **التفكير الناقد:** (3) نقاط (a, b, c) في مجال كهربائيّ منتظم كما في الشكل، إذا بذلت القوّة الكهربائيّة شغلًا مقداره (100 J) لنقل بروتون من النقطة a إلى النقطة b، فأحسب:

أ . التغيّر في طاقة الوضع الكهربائيّة عند انتقال البروتون من النقطة a إلى النقطة c.

ب. الشغل الذي تبذله القوّة الكهربائيّة لنقل البروتون من النقطة c إلى النقطة b.



4 . **أستنتج:** يُمثّل الرسم البياني في الشكل، العلاقة بين الجهد الكهربائيّ والبُعد عن مركز موصل كروي مشحون بشحنة سالبة، مستعينًا بالشكل أحسبُ:

أ . جهد الموصل الكروي.

ب. الشغل المبذول من قِبَل القوّة الكهربائيّة لنقل شحنة $(+6.0\ \mathrm{nC})$ من نقطة تبعد (4 cm) إلى نقطة أخرى تبعد (2 cm) عن مركز الموصل.

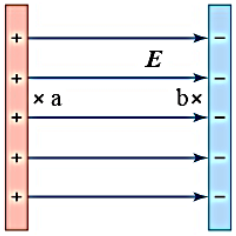
5 . **أستخدم الأرقام:** يُستعمل مواسع مواسعته (180 μF) في وحدة إضاءة (فلاش) الكاميرا كما في الشكل لتخزين الطاقة الكهربائيّة؛ لتُفرّغ من المواسع خلال جزء من الثانية على شكل طاقة ضوئية في أثناء التقاط الصورة. إذا شُحِن المواسع حتى أصبح جهده (200 V) بوساطة بطارية؛ فأحسبُ:

أ. شحنة المواسع الكلية.

ب. الطاقة الكهربائيّة المختزنة في المواسع.

مراجعة الوحدة

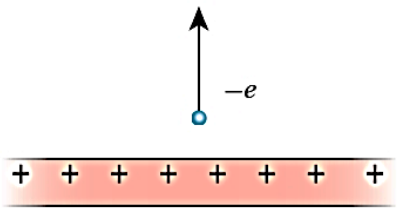
6 . جسيم كتلته (m) وشحنته (q)، بدأحركته من السكون داخل مجال كهربائي منتظم (E)، كما هو مبين في الشكل. الجسيم بدأ حركته من النقطة (a) بالقرب من الصفيحة الموجبة إلى الصفيحة السالبة. إذا علمت أن الإزاحة التي قطعها من (a) إلى (b) تساوي (d)، فأثبت أن سرعة الجسيم (v) لحظة وصوله إلى النقطة (b) تعطى بالعلاقة الآتية:



$$v=\sqrt{\frac{2qEd}{m}}$$

7. **التفكير الناقد:** يبين الشكل قشرة رقيقة لا نهائية الأبعاد في وضع أفقي، مشحونة بشحنة موجبة تتوزع على سطحها بانتظام، وبكثافة سطحية (σ). أطلق إلكترون من نقطة بالقرب من القشرة رأسيا إلى أعلى بسرعة ابتدائية (2.0×10^5 m/s)، فكانت المدة الزمنية من لحظة إطلاقه إلى لحظة رجوعه إلى نقطة الإطلاق (14.0×10^{-12} s).

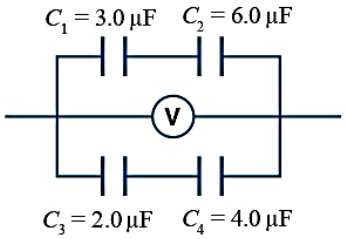
(بإهمال الوزن، واعتبار أن القوة الوحيدة المؤثرة في الإلكترون هي القوة الكهربائية) أحسب:



أ . تسارع الإلكترون

ب. الكثافة السطحية للشحنة (σ).

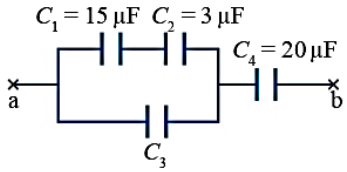
8. **أستخدم الأرقام:** يُمثّل الشكل جزءًا من دارة كهربائيّة. إذا علمتُ أنّ قراءة الفولتميتر (12 V)؛ فأحسبُ:



أ . المواسعة المكافئة.

ب. الطاقة الكلية المختزنة في المواسعات.

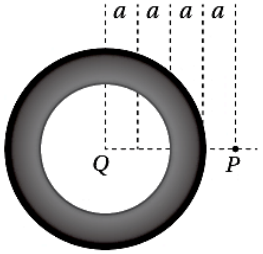
9. **أستخدم الأرقام:** تتّصل أربع مواسعات معًا في جزء من دارة كهربائيّة كما في الشكل. إذا علمتُ أنّ شحنة المواسع C_4 تساوي (30 μC)؛ وفرق الجهد بين النقطتين a و b يساوي 4.5 V، أحسب المواسعة (C_3).



أسئلةُ تفكير

1. أضعُ دائرةً حول رمز الإجابة الصحيحة لكُلّ جملة ممّا يأتي:

1 . كرة موصلة غير مشحونة، نصف قطرها $(3a)$ ، تحتوي على تجويف نصف قطره $(2a)$. وضع داخل التجويف شحنة نقطية (Q) عند مركز الكرة. مقدار المجال الكهربائي عند النقطة (P) التي تبعد عن مركز الكرة $(4a)$ يساوي:



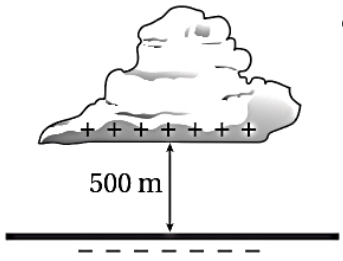
أ . 0

ب. $\frac{kQ}{16a^2}$

جـ. $\frac{3kQ}{16a^2}$

د. $\frac{kQ}{9a^2}$

2 . يبين الشكل سحابة رعدية على ارتفاع (500 m) من سطح الأرض. فرق الجهد بين السطح السفلي للسحابة وسطح الأرض (200 MV). بافتراض المجال الكهربائي بين السحابة والأرض منتظمًا؛ فإنّ القوة الكهربائية المؤثرة في قطرة ماء شحنتها $(4.0 \times 10^{-12}\ \text{C})$ موجودة في هذا الحيز تساوي:



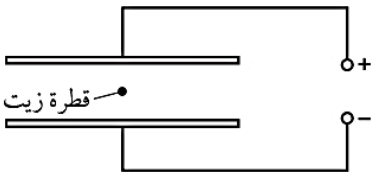
أ . $1.6 \times 10^{-6}\ \text{N}$

ب. $8.0 \times 10^{-4}\ \text{N}$

جـ. $1.6 \times 10^{-3}\ \text{N}$

د . 0.40 N

3 . قطرة زيت مشحونة بشحنة سالبة تستقر ساكنة عند منتصف المسافة بين صفيحتين متوازيتين تتصلان بمصدر فرق جهد؛ كما هو مبين في الشكل. أي من الإجراءات الآتية **لا تؤدي** إلى زيادة مقدار القوة الكهربائية المؤثرة في القطرة؟ (افترض أن أبعاد الصفيحتين كبيرة بالنسبة للمسافة الفاصلة بينهما).



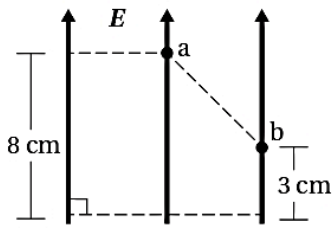
أ . انقاص المسافة بين الصفيحتين.

ب. زيادة فرق الجهد الكهربائي للمصدر.

جـ. زيادة مقدار الشحنة السالبة على القطرة.

د . نقل الشحنة لتصبح أقرب إلى الصفيحة الموجبة.

4 . اعتمادًا على البيانات المثبتة على الشكل، وإذا علمت أن مقدار المجال الكهربائي المنتظم (100 V/m)؛ فإن فرق الجهد $(V_a - V_b)$ يساوي:



أ. 5 V

ب. −5 V

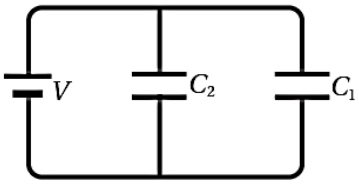
جـ. −8 V

د. 8 V

5. مواسع ذو صفيحتين متوازيتين؛ البعد بينهما (d)، وصل مع مصدر فرق جهد فنشأ بين صفيحتيه مجال كهربائي منتظم (2.0×10^3 N/C). عند مضاعفة فرق الجهد بين صفيحتيه، وإنقاص المسافة بينهما لتصبح ($\frac{d}{5}$)؛ فإن مقدار المجال الكهربائي بين صفيحتيه يصبح:

أ. 8.0×10^2 N/C ب. 1.6×10^3 N/C جـ. 2.4×10^3 N/C د. 2.0×10^4 N/C

6. مواسعان (C_1 , C_2) وصلا مع مصدر فرق جهد كما في الشكل، إذا كانت الطاقة المختزنة في المواسع الثاني أربعة أمثال الطاقة المختزنة في الأول؛ فإن النسبة بين شحنتيهما ($\frac{q_1}{q_2}$) تساوي:



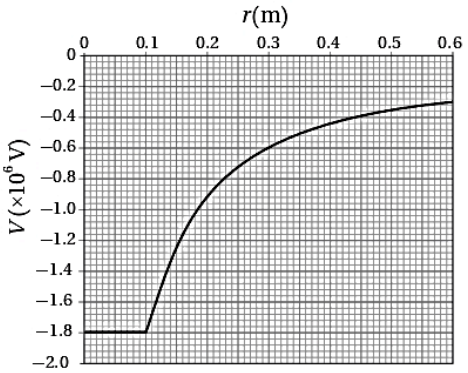
أ. $\frac{1}{8}$ ب. $\frac{1}{4}$

جـ. 2 د. 4

7. موصل كروي (A) مشحون ومعزول، نصف قطره (10 cm) وشحنته (Q)، والجهد الكهربائي عند نقطة على سطح الموصل يساوي (V). عند شحن موصل معزول آخر (B) نصف قطره (15 cm) بمقدار الشحنة نفسها (Q)، يكون الجهد الكهربائي عند نقطة على سطح الموصل (B):

أ. $\frac{V}{3}$ ب. $\frac{2}{3}$ V جـ. V د. $\frac{3}{2}V$

8. يمثل الرسم البياني المبين في الشكل العلاقة بين الجهد الكهربائي والبعد عن مركز موصل كروي مشحون. المجال الكهربائي على بعد (0.3 m) من مركز الموصل:



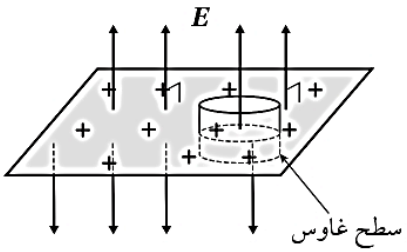
أ. 6×10^5 V/m

ب. 2×10^6 V/m

جـ. 2×10^5 V/m

د. 6×10^6 V/m

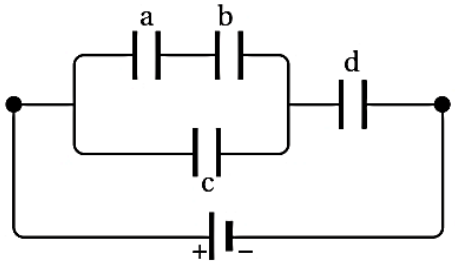
9. قشرة رقيقة من مادة غير موصلة، مشحونة بشحنة موجبة تتوزع على سطحها بانتظام بكثافة سطحية (3×10^4 pC/m^2). إذا كان التدفق الكهربائي الكلي عبر سطح غاوس المغلق المحيط بجزء من هذه الصفيحة (5.00 N.m^2/C)؛ فإن مساحة الجزء المحاط بسطح غاوس:



أ. 29.6 cm^2 ب. 14.8 cm^2

جـ. 7.40 cm^2 د. 5.30 cm^2

10. أربعة مواسعات (a, b, c, d) متساوية في المواسعة، وصلت مع بطارية كما هو مبين في الشكل. الترتيب التصاعدي لهذه المواسعات وفقًا لشحنتها:



أ. $a = b < c < d$ ب. $a = b = c = d$

جـ. $d < c < a = b$ د. $c < a = b < d$

2. **التفكير الناقد:** ثلاثة مواسعات متساوية في المواسعة، عند وصلها معا على التوازي؛ فإن مواسعتها المكافئة ($6\mu F$).

كيف يمكن وصل المواسعات للحصول على مواسعة مكافئة ($3\mu F$)؟

أ . أوضح بالرسم كيفية توصيل المواسعات للحصول على المواسعة المطلوبة.

ب. أتحقق من إجابتي رياضيا .

.....

.....

.....

.....

3. **أستخدم الأرقام:** كرة موصلة نصف قطرها (R)، شحنت بحيث أصبح الجهد عند نقطة (X) على بعد ($4R$) من مركزها (54 V)، والمجال الكهربائي عند النقطة نفسها (30 V/m). أحسب:

أ. نصف قطر الكرة

ب. الشغل الذي تبذله القوة الكهربائية لنقل إلكترون من النقطة (X) إلى نقطة (Y) تقع على سطح الكرة.