

## الوحدة الثالثة: الكهرباء السكونية Static Electricity

### الدرس الثالث: المواسعة الكهربائية Electrical Capacitance

#### الفكرة الرئيسية:

تختلف المواسعات الكهربائية في أشكالها ومقادير مواسعاتها وطرائق توصيلها معا، وتكمن أهميتها في قدرتها على تخزين الطاقة الكهربائية، وتُستعمل في الكثير من التطبيقات العملية.

#### نتائج التعلم:

- أعرف المواسعة الكهربائية لموصل رياضياً وبال كلمات.
- أمثل بيانياً العلاقة بين تغيرات الجهد الكهربائي بين صفيحتي مواسع وشحنته.
- أوظف الرسم البياني للعلاقة بين الجهد الكهربائي بين صفيحتي مواسع وشحنته في حساب الطاقة المخزنة في المواسع.
- أحسب المواسعة الكهربائية المكافئة لمجموعة مواسعات متصلة على التوالي أو على التوازي.
- أحسب كمية الشحنة على كل مواسع وفرق جهده.

#### المفاهيم والمصطلحات:

المواسع Capacitor

المواسع ذو الصفيحتين المتوازيتين

Parallel-Plate Capacitor

الفاراد Farad

المواسعة Capacitance

المواسعة المكافئة Equivalent Capacitance

### الدرس الثاني: الجهد الكهربائي Electric Potential

#### الفكرة الرئيسية:

عندما يتحرك جسيم مشحون في مجال كهربائي؛ فإن المجال يؤثر فيه بقوة كهربائية يمكن أن تبذل شغلا على الجسيم. هذا الشغل يوصف باستخدام مفهومين هما؛ طاقة الوضع الكهربائية، وفرق الجهد الكهربائي.

#### نتائج التعلم:

- أربط التغير في طاقة الوضع الكهربائية بالشغل الذي يبذله المجال في تحريك الشحنة من نقطة إلى أخرى في المجال الكهربائي.
- أحسب فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين في مجال كهربائي منتظم.
- أحسب الجهد الكهربائي داخل موصل كروي مشحون وخارجه.
- أعرف سطح تساوي الجهد.

#### المفاهيم والمصطلحات:

سطوح تساوي الجهد

Equipotential Surfaces

### الدرس الأول: المجال الكهربائي Electric Field

#### الفكرة الرئيسية:

عند شحن جسم موصل؛ فإن الشحنات تستقر على سطحه الخارجي، ولحساب المجال الكهربائي الناشئ عن موصل مشحون نستخدم قانون غاوس.

#### نتائج التعلم:

- أصف خطوط المجال لتوزيعات متصلة من الشحنات الكهربائية.
- أصف التدفق الكهربائي الذي يخترق سطحاً بمعادلة رياضية.
- أحسب مقدار المجال الكهربائي لتوزيعات متصلة من الشحنات.
- أصف حركة جسيم مشحون في مجال كهربائي منتظم.

#### المفاهيم والمصطلحات:

التدفق الكهربائي Electric Flux

قانون غاوس Gauss's Law

الكثافة السطحية للشحنة

Surface Charge Density

مجال كهربائي منتظم

Uniform Electric Field

تبحث الكهرباء السكونية في الآثار الناتجة عن تراكم شحنات ساكنة على الأجسام، وبمعرفة التأثيرات التي تحدثها هذه الشحنات في الوسط المحيط بها، يمكن التقليل من الآثار السلبية الناتجة عنها، بالإضافة إلى الاستفادة منها في الكثير من التطبيقات العملية.

#### الفكرة العامة

## الدرس الأول: المجال الكهربائي Electric Field

### الفكرة الرئيسية:

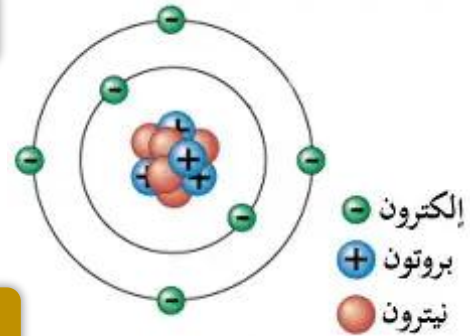
عند شحن جسم موصل؛ فإن الشحنات تستقر على سطحه الخارجي،  
ولحساب المجال الكهربائي الناشئ عن موصل مشحون نستخدم قانون  
غاوس.

### قبل أن نبدأ

هي وحدة البناء الأساسية تتكون الذرة من:

- ✍ الكثرونات سالبة ( $e$ )
- ✍ بروتونات موجبة ( $p$ )
- ✍ نيوترونات متعادلة ( $n$ )

### الذرة



الذي يفقد أو يكسب في الذرة فقط الإلكترونات

### مهم

### حالات الذرة

#### سالبة

عندما يكون عدد الإلكترونات أكبر  
من عدد البروتونات وهنا الذرة  
تكسب الكثرونات

$$e > P$$

$$\ominus > \oplus$$

#### موجبة

عندما يكون عدد الإلكترونات أقل من  
عدد البروتونات وهنا الذرة تفقد  
الكثرونات

$$e < P$$

$$\ominus < \oplus$$

#### متعادلة

عندما يكون عدد الإلكترونات مساوياً  
لعدد البروتونات

$$e = P$$

$$\ominus = \oplus$$

### من هنا نبدأ

يولد الجسم المشحون في الحيز المحيط به مجالاً كهربائياً، يظهر أثره على شكل قوة  
كهربائية تؤثر في الأجسام المشحونة الأخرى التي تقع ضمن المجال الكهربائي.

### تذكر أن

✿ الشحنات المتشابهة تتنافر  $\leftarrow \ominus \ominus \rightarrow$   $\leftarrow \oplus \oplus \rightarrow$

✿ الشحنات المختلفة تتجاذب  $\ominus \rightarrow \leftarrow \oplus$

✿ للكشف عن المجال الكهربائي، نستخدم شحنة اختبار صغيرة موجبة ( $q$ ) حيث يؤثر المجال فيها بقوة كهربائية.

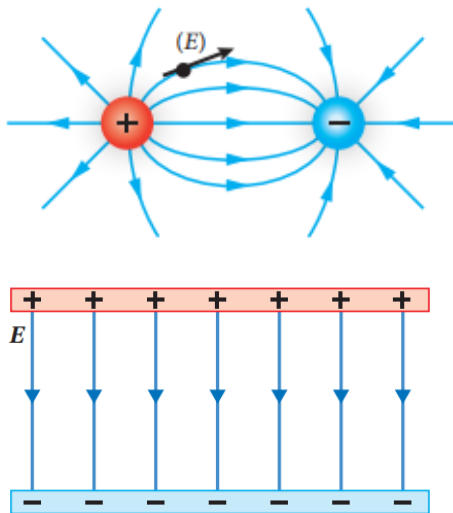
✿ ويتم تحديد وتمثيل خطوط المجال الكهربائي من خلال المسارات التي تسلكها شحنة الاختبار المتحركة تحت تأثير قوة المجال الكهربائي.

📌 ما المقصود بشحنة الاختبار؟

ج هي شحنة صغيرة موجبة ( $q$ ) نستخدم للكشف عن المجال الكهربائي وتحديد اتجاه خطوط المجال الكهربائي.

📌 ما المقصود بخطوط المجال الكهربائي؟

ج هي المسارات التي تسلكها شحنة الاختبار المتحركة تحت تأثير قوة المجال الكهربائي



📌 اذكر خصائص خطوط المجال الكهربائي.

- 1] وهمية (لانراها)
- 2] غير مقفلة
- 3] تكون دائماً خارجة من الشحنة الموجبة
- 4] تكون دائماً داخلة إلى الشحنة السالبة
- 5] تدل كثافة الخطوط على مقدار المجال الكهربائي
- 6] يدل اتجاه المماس عند نقطة على اتجاه المجال الكهربائي

القوة الكهربائية (Electric force)

- رمزه ( $F_E$ )
- تقاس بوحدّة ( $N$ )
- كمية متجهة
- هي القوة التي يؤثر بها المجال الكهربائي في الجسم المشحون داخله

$$F_E = Eq$$

## المجال الكهربائي (Electric field)

رمزه (E)

يقاس بوحدة (N/C)

كمية متجهة (يحدد اتجاهه من خلال شحنة اختبار صغيرة موجبة (q))

هو خاصية للحيز المحيط بالجسم المشحون ويظهر أثره على شكل قوى كهربائية

القانون العام لحساب المجال الكهربائي:

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

حيث:

$F_E$ : القوة الكهربائية

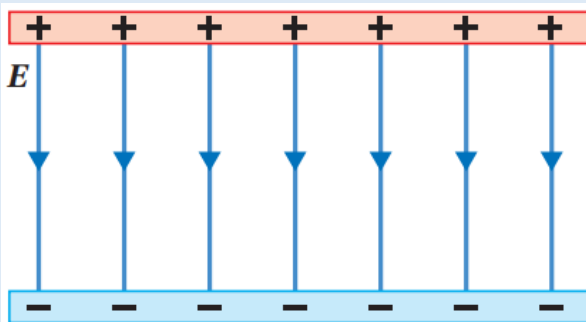
$E$ : المجال الكهربائي

$q$ : الشحنة الكهربائية

## يقسم المجال الكهربائي إلى

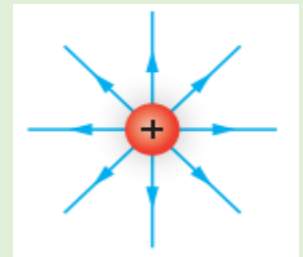
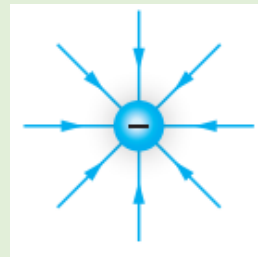
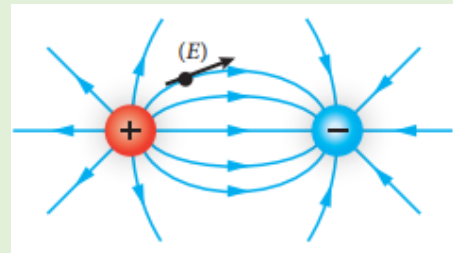
### المجال الكهربائي المنتظم

- هو المجال الكهربائي ثابت المقدار والاتجاه عند جميع نقاطه
- تكون خطوط المجال الكهربائي مستقيمة والمسافات بينها متساوية
- ينشأ بين صفيحتين موصلتين مشحونتين بشحنتين متساويتين بالمقدار، أحدهما موجبة والأخرى سالبة



### المجال الكهربائي غير المنتظم

- هو المجال الكهربائي متغير (غير ثابت) المقدار والاتجاه عند جميع نقاطه
- تكون خطوط المجال الكهربائي منحنية والمسافات بينها غير متساوية
- ينشأ عن شحنة نقطية أو بين شحنات نقطية



## ملاحظة

$\Phi$ : رمز لاتيني يقرأ  
فاي أو فلكس

## التدفق الكهربائي (Electric field)

رمزه ( $\Phi_E$ )

يقاس بوحدة ( $N \cdot m^2 / C$ ) أو ( $V \cdot m$ )

كمية قياسية (لا يوجد له اتجاه)

هو عدد خطوط المجال الكهربائي التي تعبر مساحة محددة، أو هو عدد الخطوط الكلي التي تخترق سطح ما.

و هو ناتج الضرب القياسي لمتجه المجال الكهربائي ( $\vec{E}$ ) في متجه المساحة ( $\vec{A}$ )

$$\Phi_E = \vec{E} \cdot \vec{A}$$

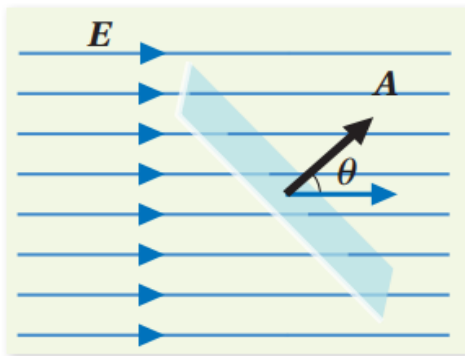
$$\Phi_E = E A \cos \theta$$

التدفق  
الكهربائي

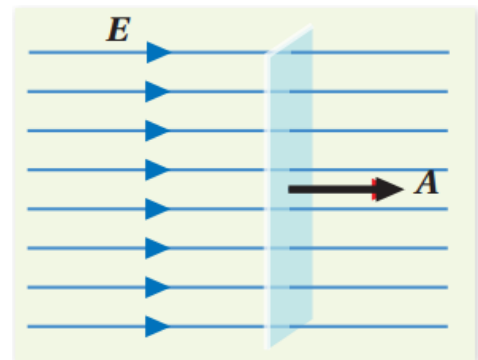
المجال  
الكهربائي

مقدار  
المساحة

الزاوية بين  
 $\vec{A}$  و  $\vec{E}$



(ب): التدفق الكهربائي عبر سطح  
مستواه يميل عن المجال بزاوية.



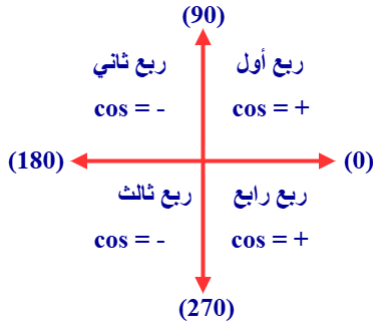
(أ): التدفق الكهربائي عبر سطح  
مستواه عمودي على المجال.

## الشكل (2): التدفق الكهربائي.

ما المقصود بمتجه المساحة ( $\vec{A}$ )؟

ج هو متجه مقداره يساوي مساحة السطح، ويكون اتجاهه عمودياً على السطح نحو الخارج

✓ **أتحقق:** ما العوامل التي يعتمد عليها التدفق الكهربائي عبر سطح مستو؟



تذكر أن

$$\begin{aligned}\cos 0 &= 1 \\ \cos 90 &= 0 \\ \cos 180 &= -1\end{aligned}$$

عليك أن تعلم

تكون  $\cos \theta = +$  \*

عندما تكون  $(\theta = 0)$  أو  $(0 < \theta < 90)$  <sup>حادّة</sup>

تكون  $\cos \theta = -$  \*

عندما تكون  $\theta$  تساوي  $(\theta = 180)$  أو  $(90 < \theta < 180)$  <sup>منفرجة</sup>

## حالات التدفق الكهربائي ( $\Phi_E$ )

سالب (-)

منعدم (0)

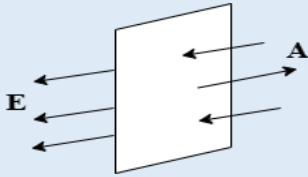
موجب (+)

هذا يعني ان خطوط المجال الكهربائي داخلة إلى السطح وذلك عندما

تكون خطوط المجال الكهربائي

معاكسة لمتجه المساحة

$(\theta = 180)$



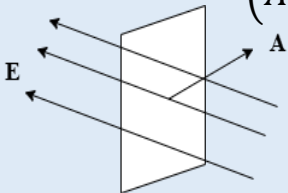
أويمكن القول ان خطوط المجال

الكهربائي عمودية على مستوى

الحلقة

أيضا عندما تكون الزاوية منفرجة بين

متجهي  $(\vec{A}$  و  $\vec{E})$



هذا يعني ان خطوط المجال لا

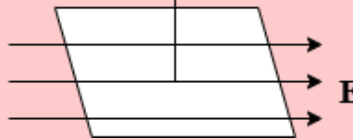
تخترق السطح وذلك عندما

تكون خطوط المجال

عمودية على متجه

المساحة  $(\theta = 90)$

A



أويمكن ان نقول خطوط

المجال الكهربائي موازية

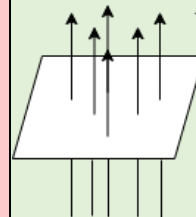
لمستوى السطح.

هذا يعني ان خطوط المجال الكهربائي

خارجة من السطح وذلك عندما

تكون خطوط المجال موازية لمتجه

المساحة  $(\theta = 0)$



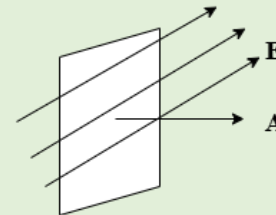
أويمكن القول ان خطوط المجال

الكهربائي عمودية على مستوى

السطح

أيضا عندما تكون الزاوية حادة بين

متجهي  $(\vec{A}$  و  $\vec{E})$



## هذا الكلام من ذهب

تذكر أن

$$A = \pi r^2 \text{ دائرة}$$

$$A = \text{عرض} \times \text{طول} \text{ مستطيل}$$

$$A = (\text{الضلع})^2 \text{ مربع}$$

👉 عليك ان تميز بين

متجه المساحة و مستوى السطح او الحلقة او الملف او.....

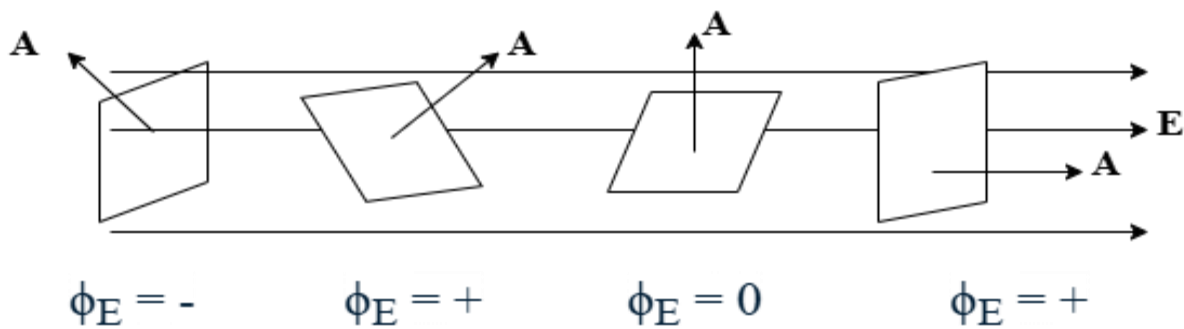
👉 دائماً وابدأ وخاوة

✿ متجه المساحة عمودي على مستوى السطح او الحلقة او الملف.....

✿ نحن نهتم بالزاوية بين متجه المساحة  $\vec{A}$  وخطوط المجال الكهربائي  $\vec{E}$

**أمثلة:**

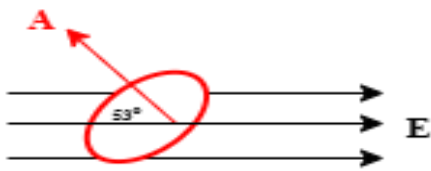
- ✿ عندما يكون متجه المساحة موازياً لخطوط المجال أي أن  $(\theta = 0^\circ)$
- ✿ عندما يكون مستوى السطح عمودياً على خطوط المجال أي أن  $(\theta = 90^\circ)$
- ✿ عندما يكون متجه المساحة عمودياً على خطوط المجال أي أن  $(\theta = 0^\circ)$
- ✿ عندما يكون مستوى السطح موازياً لخطوط المجال أي أن  $(\theta = 90^\circ)$
- ✿ عندما يكون متجه المساحة معاكساً لخطوط المجال أي أن  $(\theta = 180^\circ)$
- ✿ عندما تصنع خطوط المجال زاوية  $(37^\circ)$  مع متجه المساحة أي أن  $(\theta = 37^\circ)$
- ✿ عندما تصنع خطوط المجال زاوية  $(37^\circ)$  مع مستوى السطح أي أن  $(\theta = 53^\circ)$
- ✿ عندما تصنع خطوط المجال زاوية  $(120^\circ)$  مع متجه المساحة أي أن  $(\theta = 120^\circ)$
- ✿ عندما تصنع خطوط المجال زاوية  $(120^\circ)$  مع مستوى السطح أي أن  $(\theta = 60^\circ)$



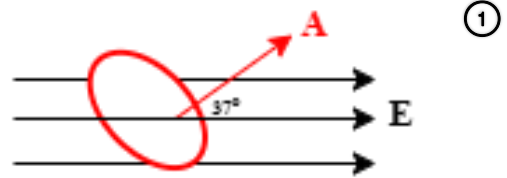
التحويلات

## سؤال شامل كامل متكامل

س حلقة دائرية الشكل مساحتها ( $40 \text{ cm}^2$ ) مغمورة في مجال كهربائي منتظم مقداره  $(3 \times 10^3 \text{ N/C})$  احسب التدفق الكهربائي في كل من الحالات التالية:

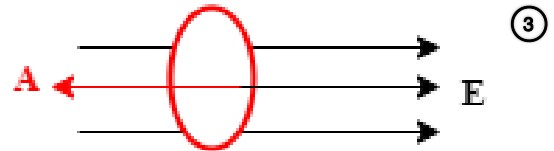


②



①

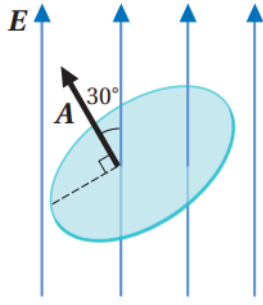
④ عندما تصنع خطوط المجال الكهربائي زاوية (60) مع متجه المساحة



③

⑥ عندما يكون مستوى الحلقة موازي لخطوط المجال الكهربائي

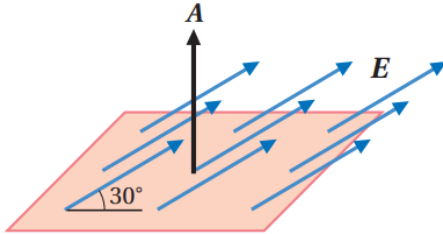
⑤ عندما تصنع خطوط المجال الكهربائي زاوية (37) مع مستوى الحلقة.



الشكل (3): حساب التدفق الكهربائي.

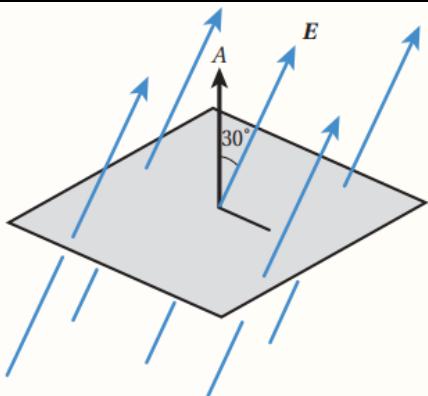
## المثال 1

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



## تمرين

**أستخدم الأرقام:** مربع طول ضلعه  $(10 \text{ cm})$  تخترقه خطوط مجال كهربائي منتظم مقداره  $(240 \text{ N/C})$  ويصنع زاوية  $(30^\circ)$  مع سطح المربع، كما يبين الشكل، أحسب التدفق الكهربائي عبر المربع.

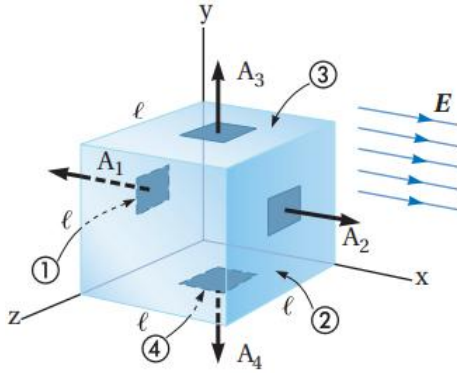


مربع طول ضلعه  $(l)$ ، تخترقه خطوط مجال كهربائي منتظم كما يبين الشكل المجاور، فيكون التدفق عبره  $(\Phi)$ . فإن مقدار المجال  $(E)$  يساوي:

$$\begin{aligned} \text{أ-} \quad \frac{\Phi}{l \cos 30^\circ} \quad \text{ب-} \quad \frac{\Phi}{l^2 \cos 30^\circ} \\ \text{ج-} \quad \frac{l^2 \cos 30^\circ}{\Phi} \quad \text{د-} \quad \frac{\Phi}{l^2 \sin 30^\circ} \end{aligned}$$

## ✱ التدفق الكهربائي عبر سطح مغلق

### Electric Flux Through a Closed Surface



الشكل (4): مكعب موضوع في مجال كهربائي منتظم.

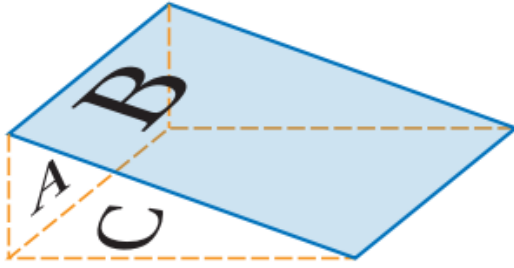
يبين الشكل (4) مكعباً موضوعاً في مجال كهربائي منتظم. يُعد المكعب مثلاً على سطح مغلق. ويمكن حساب التدفق عبر أحد أوجه المكعب باستخدام العلاقة  $(\Phi = EA \cos \theta)$ ؛ وذلك برسم متجه المساحة عمودياً على ذلك السطح نحو الخارج، ثم تحديد الزاوية  $(\theta)$  بين متجهي المجال والمساحة، ويبين الشكل متجهات 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  $(\theta = 0^\circ)$ ، فيكون التدفق عبر السطح موجباً  $(E_1 = EA \cos 0^\circ = EA)$ .
- تخترق خطوط المجال السطح (1) داخلة فيه، والزاوية بين متجهي المجال والمساحة  $(\theta = 180^\circ)$ ؛ فيكون التدفق عبر السطح سالباً  $(E_2 = EA \cos 180^\circ = -EA)$ .
- لا تخترق خطوط المجال السطحين العلوي والسفلي (3، 4) حيث الزاوية  $(\theta = 90^\circ)$ ، كذلك لا تخترق الخطوط الأسطح الجانبية الموازية للمجال؛ فيكون التدفق عبر هذه الأسطح يساوي صفراً.
- التدفق الكلي  $(\Phi_{net})$  عبر المكعب هو مجموع التدفق عبر سطوح المكعب ويساوي صفراً.

$$\Phi_{net} = EA - EA = 0$$

بوجه عام؛ فإن التدفق الكهربائي الكلي الناتج عن مجال كهربائي منتظم عبر سطح مغلق موضوع في المجال يساوي صفراً.

عند رسم متجه المساحة يجب مراعاة الفرق بين حساب التدفق عبر سطح مغلق وحساب التدفق عبر سطح مستوي، فالأسطح ثلاثية الأبعاد؛ مثل الكرة أو المكعب هي أسطح مغلقة، يرسم متجه المساحة دائماً عمودياً عليها نحو الخارج، فإذا كانت خطوط المجال خارجة من السطح يكون التدفق موجباً، وإذا كانت خطوط المجال داخلة في السطح يكون التدفق سالباً. أما عندما تخترق خطوط المجال سطحاً مستوياً؛ مثل المربع أو الدائرة، فلا توصف خطوط المجال بأنها داخلة أو خارجة من السطح، ويرسم متجه المساحة عادةً مع اتجاه خطوط المجال.

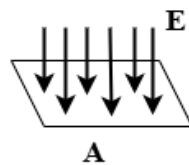
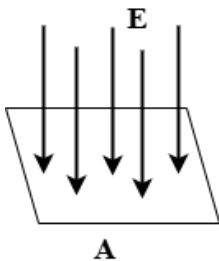


بين الشكل سطحًا مغلقًا على شكل منشور ثلاثي وضع في مجال كهربائي منتظم، فكان التدفق عبر الأسطح الثلاثة كما يأتي: التدفق عبر السطح (A) صفر، التدفق عبر السطح (B) سالب، التدفق عبر السطح (C) موجب، التدفق الكلي صفر. بناء على هذه النتيجة فإن اتجاه المجال يكون باتجاه محور:

$-x$      $-y$      $+y$      $-x$

✓ **أتحقق:** قد يكون التدفق الكهربائي عبر جزء من سطح مغلق موجبًا أو سالبًا. علام تدل إشارة التدفق؟

س/ حلقة دائرية مغورة داخل مجال كهربائي منتظم مقداره  $(5 \times 10^4 \text{ N/C})$  بحيث مستواها عمودي على خطوط المجال الكهربائي اذا كان التدفق الكهربائي عبر الحلقة يساوي  $(20 \times 10^2 \text{ N.m}^2/\text{C})$  فاحسب مقدار مساحة الحلقة .



اعتمادًا على الشكل فإن العلاقة الصحيحة:

أ-  $E_A = E_B, \Phi_A = \Phi_B$

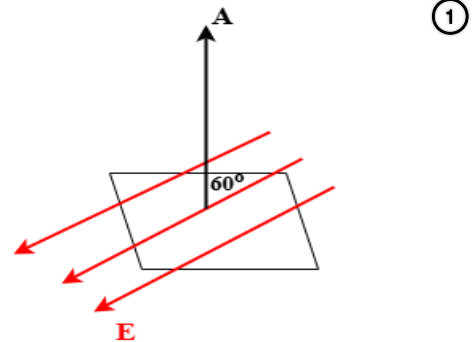
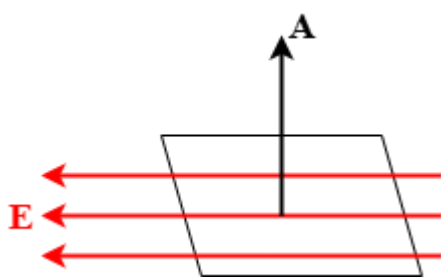
ب-  $E_A < E_B, \Phi_A = \Phi_B$

ج-  $E_A > E_B, \Phi_A > \Phi_B$

د-  $E_A < E_B, \Phi_A < \Phi_B$

## H.W

صفحة مربعة الشكل طول ضلعها ( $60\text{ cm}$ ) مغمورة في مجال كهربائي منتظم مقداره  $(8 \times 10^3\text{ N/C})$ . احسب التدفق الكهربائي في الحالات التالية:



④ عندما تصنع خطوط المجال الكهربائي زاوية ( $30$ ) مع مستوى السطح

③ عندما توازي خطوط المجال الكهربائي متجه المساحة

صفحة مستطيلة طولها ( $4\text{ cm}$ ) وعرضها ( $2\text{ cm}$ ) مغمورة في مجال كهربائي منتظم بحيث مستواها عمودي على خطوط المجال الكهربائي اذا كان التدفق الكهربائي الذي يخترقها ( $24\text{ N.m}^2/\text{C}$ ) فإن مقدار المجال الكهربائي:

أ-  $3 \times 10^4\text{ N/C}$

ب-  $0\text{ N/C}$

ج-  $3\text{ N/C}$

د-  $3 \times 10^3\text{ N/C}$

## ❖ قانون غاوس (Gauss's law)

يوضح قانون غاوس العلاقة بين التدفق الكهربائي الكلي عبر سطح مغلق ( $\Phi_E$ ) والشحنة الكهربائية المحتواة داخله ( $q_{in}$ )

ينص على أن «التدفق الكهربائي عبر سطح مغلق يساوي الشحنة الكلية داخل السطح مقسومة على السماحية للهواء  $\epsilon_0$  (الوسط المحيط بالشحنة)».

$$\Phi_E = \frac{q_{in}}{\epsilon_0}$$

القانون: حيث:

$q_{in}$ : الشحنة الكلية المحتواة داخل السطح.

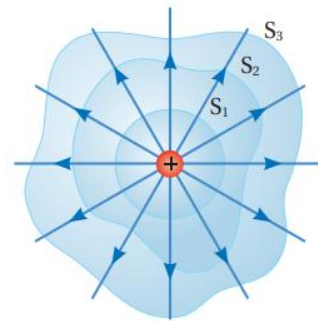
$\epsilon_0 \rightarrow 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N.m}^2$ : السماحية الكهربائية للهواء.

## ❖ مهم جداً

التدفق الكهربائي الكلي عبر سطح مغلق لا يعتمد على شكل السطح.

## بعض الأمثلة على قانون غاوس

1



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

يوضح الشكل ثلاثة أسطح مختلفة

( $S_1, S_2, S_3$ ) تحيط بشحنة نقطية ( $q$ )

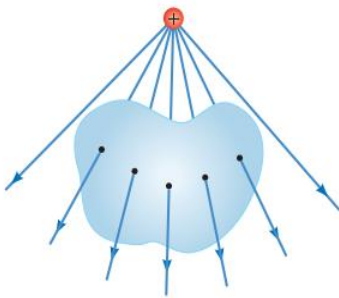
ويكون التدفق الكلي متساوياً عبر الأسطح

الثلاثة ( $\Phi_1 = \Phi_2 = \Phi_3$ ) لأن عدد الخطوط

الكلي التي تخترق كلاً من الأسطح الثلاثة

يكون متساوياً

2



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

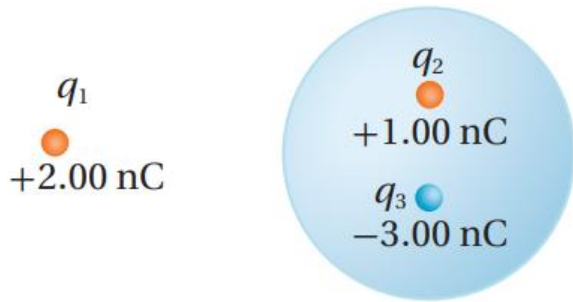
يوضح الشكل شحنة مولدة تقع خارج

السطح ويكون التدفق الكهربائي الكلي

عبر السطح المغلق يساوي صفراً. لأن الشحنة

خارج السطح ولأن عدد الخطوط الداخلة إلى

السطح يساوي عدد الخطوط الخارجة منه.



الشكل (6): التدفق عبر سطح كروي  
بداخله شحنات نقطية.

## المثال 2

ثلاث شحنات نقطية موضوعة في الهواء، كما  
يبين الشكل (6)، معتمداً على البيانات المثبتة  
في الشكل؛ أحسب التدفق الكهربائي عبر  
السطح الكروي، علماً أن  
 $(\epsilon_o = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N.m}^2)$

## تمرين

سطح كروي مغلق يحتوي في داخله على (3) شحنات كهربائية هي

$$Q_1 = -2 \times 10^{-6} \text{ C} \quad Q_2 = 4 \times 10^{-6} \text{ C} \quad Q_3 = 6 \times 10^{-6} \text{ C}$$

ب- إذا تضاعفت الشحنة ( $Q_2$ ) مرتين فاحسب

التدفق الكهربائي عبر السطح الكروي

المغلق علماً أن

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

أ- احسب التدفق الكهربائي عبر السطح

الكروي المغلق علماً أن

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

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

١- مضاعفة الشحنة داخل السطح ثلاث مرات.

٢- إزاحة الشحنة عن المركز مع بقائها داخل السطح.

٣- استخدام مكعب يحيط بالشحنة ( $q$ ) بدلا من السطح الكروي.

٤- مضاعفة نصف قطر السطح الكروي المحيط بالشحنة ( $q$ ) مرتين.

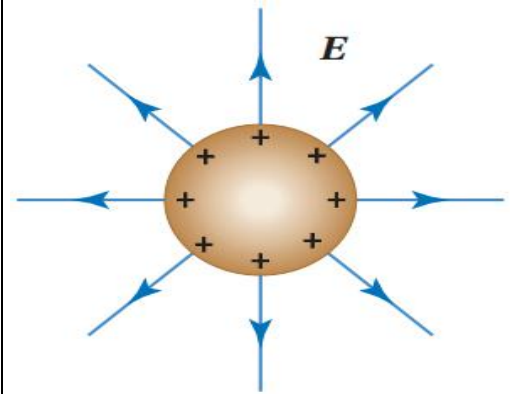
## المجالات الكهربائية لتوزيعات متصلة من الشحنات

### Electric Fields of a Continuous Charge Distributions

من التطبيقات المهمة لقانون غاوس، استخدامه في حساب المجالات الكهربائية الناشئة عن توزيعات متصلة من الشحنات الكهربائية.

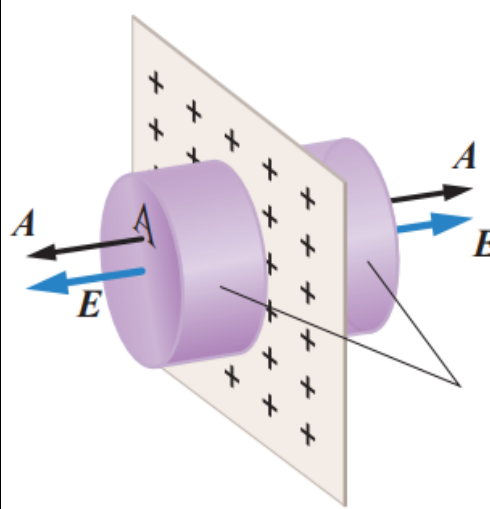
### من الأمثلة على توزيع متصل من الشحنات:

#### ① الموصل الكروي المشحون



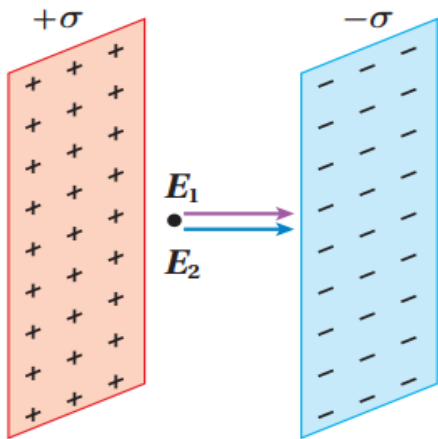
الشكل (8): تتوزع الشحنات الكهربائية على السطح الخارجي للموصل الكروي بانتظام؛ فتولد حوله مجالاً كهربائياً، وتُرسَم خطوط المجال الكهربائي عمودية على سطح الموصل.

#### ② قشرة رقيقة مشحونة



الشكل (13): قشرة رقيقة مستوية لا نهائية الأبعاد، مشحونة بشحنة موجبة.

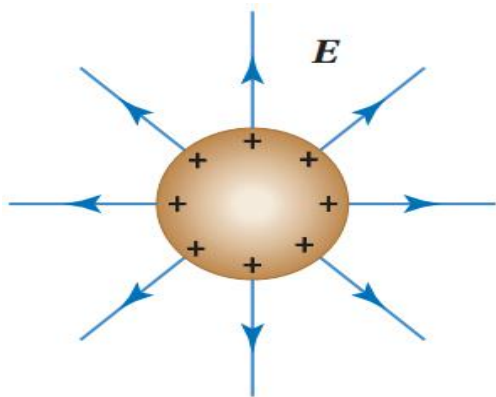
#### ③ المجال الكهربائي المنتظم



الشكل (14): المجال الكهربائي عند نقطة بين صفيحتين متوازيتين مشحونتين يساوي المجال المحصل الناتج عن الصفيحتين.

#### ملاحظة

عند شحن جسم موصل فإن الشحنات تتباعد عن بعضها البعض بسبب تنافرها وتستقر على السطح الخارجي للموصل



✓ **أتحقق:** لماذا تتوزع الشحنات على السطح الخارجي للموصل المشحون، ولا تستقر في الداخل؟

ملاحظة

$\sigma$ : تلفظ (سيجما)

الكثافة السطحية للشحنة (Surface Charge Density)

رمزها ( $\sigma$ )

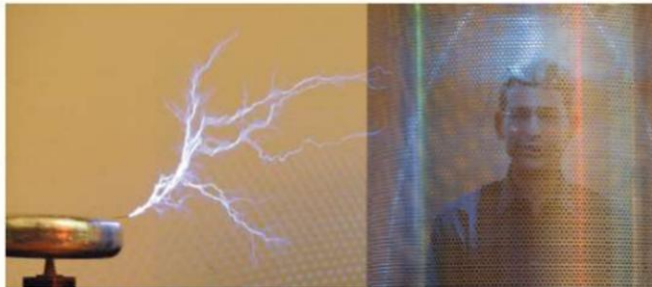
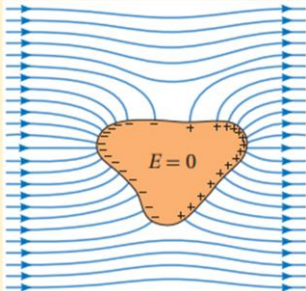
تقاس بوحدة  $C/m^2$

هي كمية الشحنة لكل وحدة مساحة

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

الربط بالتكنولوجيا

قفص فاراداي؛ عبارة عن وعاء أو جسم موصل يمنع المجال الكهربائي من اختراقه. سُمِّي قفص فارادي نسبة إلى العالم مايكل فارادي الذي ابتكر هذا القفص لأول مرة في عام 1836م. وتتمثل آلية عمله في أن المجال الكهربائي الخارجي يتسبب في شحن القفص الفلزي بالحث، كما هو مبين في الشكل، فينشأ داخله مجال كهربائي مساو للمجال الخارجي ومعاكس له في الاتجاه؛ فيكون المجال المحصل داخل القفص صفراً. من التطبيقات العملية على قفص فارادي؛ حماية الأجهزة الإلكترونية من المجالات الكهرومغناطيسية عن طريق تغليفها بمادة موصلة، كذلك؛ فإن هيكل السيارة أو الطائرة هو قفص فارادي يوفر الحماية لمن بداخلها في أثناء تعرضها إلى صاعقة برق.



❖ ستقتصر دراستنا على حساب المجالات الكهربائية للتوزيعات الاتية:

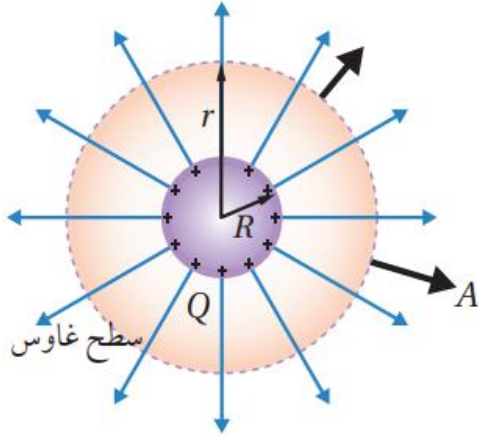
أولاً: موصل كروي مشحون

ثانياً: قشرة رقيقة مشحونة

ثالثاً: صفيحتان متوازيتان مشحونتان بشحنتين مختلفتين في النوع ومتساويتين بالمقدار (مجال كهربائي منتظم)

## ✳ أولاً: المجال الكهربائي لكرة موصلة مشحونة

### Electric Field of a Charged Conducting Sphere



الشكل (9): بتطبيق قانون غاوس يمكن حساب المجال الكهربائي خارج الموصل الكروي المشحون.

يبين الشكل (9) كرة موصلة نصف قطرها  $(R)$ ، تتوزع على سطحها الخارجي شحنة  $(Q)$  بشكل منتظم. ولحساب المجال الكهربائي عند نقطة خارج الكرة وعلى بعد  $(r > R)$  من مركزها؛ تتبع الخطوات الآتية:

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

$$\Phi = EA$$

حيث مساحة سطح غاوس للكرة  $(A = 4\pi r^2)$ .

- بتطبيق قانون غاوس؛ فإن التدفق الكهربائي عبر السطح  $(\Phi = \frac{q_{in}}{\epsilon_0})$ ، وبذلك نعبر عن التدفق بالصورة الآتية:

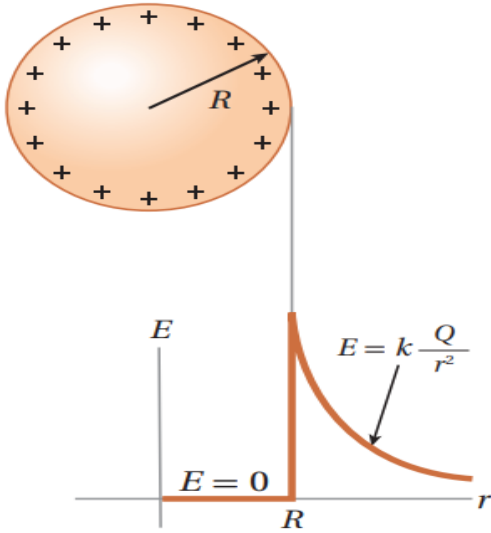
$$EA = \frac{q_{in}}{\epsilon_0}$$

$$E(4\pi r^2) = \frac{q_{in}}{\epsilon_0}$$

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

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2}$$

- يمكن التعبير عن الثابت بالرمز  $(k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0})$  ثابت كولوم، حيث  $(K = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2)$ .



الشكل (10): العلاقة بين المجال الكهربائي والبعد عن مركز موصل كروي مشحون.

وبذلك يمكن التعبير عن المجال الكهربائي بالصورة الآتية:

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

تستخدم هذه العلاقة لحساب المجال الكهربائي عند نقطة تقع خارج الكرة الموصلة المشحونة، أو عند نقطة قريبة جداً من سطح الكرة. وتوضح هذه العلاقة أن المجال خارج الكرة يماثل مجال الشحنة النقطية (الذي درسته سابقاً). أما المجال داخل الكرة فيساوي صفراً، ويبين الشكل (10) تمثيلاً بيانياً للعلاقة بين المجال الكهربائي والبعد عن مركز الكرة.

✓ **أتحقق:** ما العوامل التي يعتمد عليها المجال الكهربائي عند نقطة تقع خارج موصل كروي مشحون؟

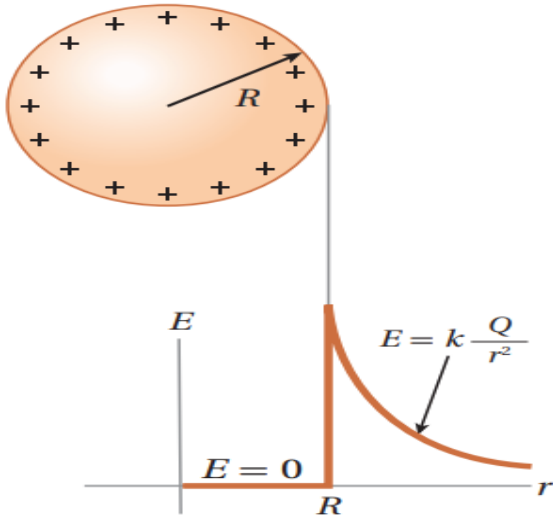
أفكر

أثبت باستخدام قانون غاوس أن «المجال الكهربائي داخل الموصل الكروي المشحون يساوي صفراً»

تقسم الكرة الى

العازلة

الموصلة



الشكل (10): العلاقة بين المجال الكهربائي والبعد عن مركز موصل كروي مشحون.

نلاحظ من الشكل ومن التمثيل البياني ان المجال الكهربائي يساوي صفراً في مركز الموصل وداخله وعند سطح الموصل يكون له أكبر قيمة وكلما ابتعدنا من السطح نحو خارج الموصل يبدأ المجال الكهربائي بالتناقص تدريجياً

## المختصر

$E = 0$  داخل الموصل الكروي  
عند نقطة قريبة جداً من سطح الموصل الكروي  $E = \frac{kQ}{r^2} = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$   
عند نقطة تقع خارج الموصل الكروي المشحون  $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \times \frac{R^2}{r^2}$

حيث:

يقاس  $E \rightarrow N/C$  : المجال الكهربائي

$Q \rightarrow C$  : الشحنة الكهربائية

$R \rightarrow m$  : نصف قطر الموصل الكروي

$r \rightarrow m$  : نصف قطر سطح غاوس

$\sigma \rightarrow C/m^2$  : الكثافة السطحية للشحنة

$k = 9 \times 10^9 N.m^2/C^2$  : ثابت كولوم

$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} C^2/N.m^2$  : السماحية الكهربائية للهواء

$e = 1.6 \times 10^{-19} C$  : شحنة الإلكترون

ملاحظة

يجب حفظ وحدة قياس كل من  $k$  و  $\epsilon_0$

استخدم السماحية الكهربائية للهواء  $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N.m}^2$  أينما يلزم

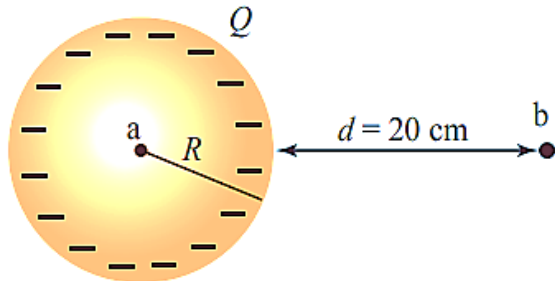
## المثال 3

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

١- أثبت أن المجال الكهربائي عند نقطة خارج الكرة وعلى بعد ( $r$ ) من مركزها يعطى

$$E = \frac{\sigma R^2}{\epsilon_0 r^2} \text{ بالآتية:}$$

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

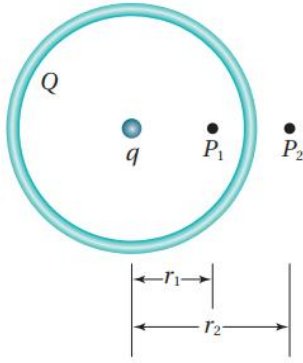


الشكل (11): كرة نحاسية مشحونة بشحنة سالبة.

## تمرين

**أستخدم الأرقام:** يوضح الشكل (11) كرة نحاسية نصف قطرها ( $10 \text{ cm}$ )، موضوعة في الهواء ومشحونة بشحنة سالبة ( $-12 \mu\text{C}$ ). مستعينا بالشكل، أجد المجال الكهربائي عند كل من النقطتين ( $b, a$ ).

## المثال 4

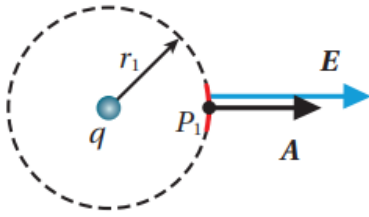


الشكل (أ/12): كرة مجوفة وشحنة نقطية.

كرة بلاستيكية مجوفة؛ نصف قطرها (10 cm) مشحونة بشحنة سالبة ( $Q = -16e$ ) موزعة على سطحها بانتظام. وضع عند مركزها شحنة نقطية ( $q = +5e$ ). ما مقدار المجال واتجاهه عند النقطتين ( $P_1$ ) و ( $P_2$ ) المبينتين في الشكل (أ/12)؟

حيث ( $r_1 = 6.0 \text{ cm}$ ) ، ( $r_2 = 12.0 \text{ cm}$ ).

الحل:



الشكل (ب/12): حساب المجال الكهربائي عند ( $P_1$ ).

لحساب المجال الكهربائي عند النقطة ( $P_1$ ):

نرسم سطح غاوس، وهو سطح كروي نصف قطره ( $r_1$ )، بحيث تقع ( $P_1$ ) على السطح كما يبين الشكل (ب/12). ثم نرسم متجه المجال عمودياً على السطح خارجاً منه؛ لأن الشحنة الكلية داخل السطح موجبة ( $q_{in} = q$ ). فتكون الزاوية بين متجهي المجال والمساحة تساوي صفراً ( $\theta = 0^\circ$ ).

نطبق قانون غاوس:

$$EA \cos 0^\circ = \frac{q_{in}}{\epsilon_0}$$

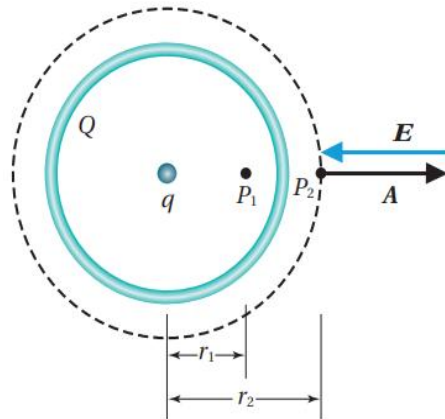
$$E(4\pi r_1^2) = \frac{q}{\epsilon_0}$$

$$E = \frac{5e}{4\pi\epsilon_0 \times (6.0 \times 10^{-2})^2} = \frac{9 \times 10^9 \times 5 \times 1.6 \times 10^{-19}}{36 \times 10^{-4}} = 2.0 \times 10^{-6} \text{ N/C}$$

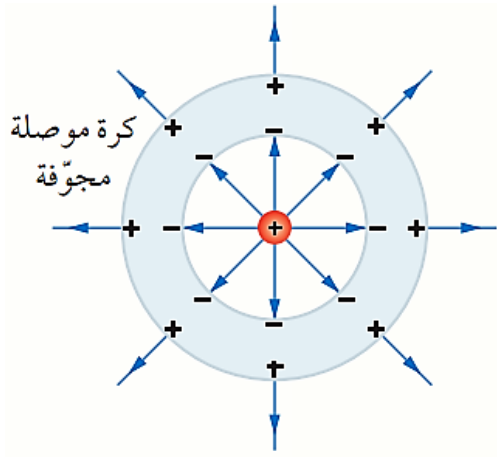
لحساب المجال الكهربائي عند النقطة ( $P_2$ )؛ تتبع

الخطوات ذاتها، فنرسم سطح غاوس كما يبين الشكل (ج/12)، ونلاحظ أن الشحنة الكلية داخل سطح غاوس سالبة ( $q_{in} = Q + q = -11e$ )؛ فنرسم متجه المجال داخلاً في السطح، وتكون الزاوية بين متجهي المجال والمساحة ( $\theta = 180^\circ$ ). وبتطبيق قانون غاوس:

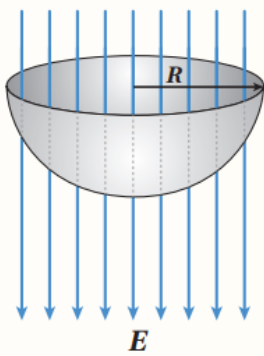
$$E A \cos(180^\circ) = \frac{q_{net}}{\epsilon_0} \rightarrow E = \frac{-11e}{4\pi\epsilon_0 \times (12.0 \times 10^{-2})^2} = 1.1 \times 10^{-6} \text{ N/C}$$



الشكل (ج/12): حساب المجال عند ( $P_2$ ) نرسم سطح غاوس بحيث تقع النقطة عليه.



📌 **التفكير الناقد:** وضعت شحنة نقطية  $(+Q)$  في مركز كرة موصلة مجوفة ومتعادلة كهربائياً؛ فشنت الكرة بالحث كما يبين الشكل المجاور. مستخدماً قانون غاوس؛ أصف المجال الكهربائي عند نقطة تقع داخل مادة الكرة، وعند نقطة تقع خارج الكرة.

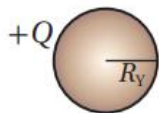
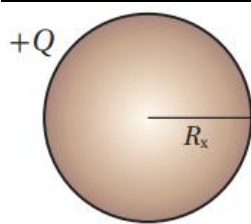


📌 **سطح غاوس على شكل نصف كرة مجوفة نصف قطرها  $(R)$ ، كما هو مبين في الشكل، موضوعة في مجال كهربائي  $(E)$  باتجاه محور  $(y)$ . التدفق الكهربائي عبر السطح الجانبي لنصف الكرة:**

$\pi R^2 E$ -أ	$-\pi R^2 E$ -ب
$2\pi R E$ -ج	$-2\pi R E$ -د

كرة موصلة نصف قطرها  $(R)$ ، وكرة موصلة ثانية نصف قطرها  $\left(\frac{R}{2}\right)$ ، 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:

$$E_2 = E_1 \quad \text{ـ} \quad E_2 = \frac{1}{4} E_1 \quad \text{ـ} \quad E_2 = \frac{1}{2} E_1 \quad \text{ـ} \quad E_2 = 2 E_1 \quad \text{ـ}$$



كرتان موصلتان  $(X, Y)$  مشحونتان بمقدار الشحنة نفسه. الكثافة السطحية للشحنة على سطح الكرة  $(X)$  تساوي  $(\sigma)$  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  $(\sigma)$

يساوي:

$$\begin{array}{ll} \frac{4 \sigma}{\epsilon_0} \quad \text{ـ} & \frac{2 \sigma}{\epsilon_0} \quad \text{ـ} \\ \frac{\sigma}{2 \epsilon_0} \quad \text{ـ} & \frac{\sigma}{4 \epsilon_0} \quad \text{ـ} \end{array}$$

- ١- كرة موصلة قطرها ( $2.4\text{ m}$ ) مشحونة بشحنة موجبة موزعة على سطحها بانتظام، بكثافة سطحية مقدارها ( $80\text{ }\mu\text{C}/\text{m}^2$ ). أجد ما يأتي:
- أ- الشحنة الكلية للكرة.
- ب- مقدار التدفق الكلي الذي يخرج من سطح الكرة.

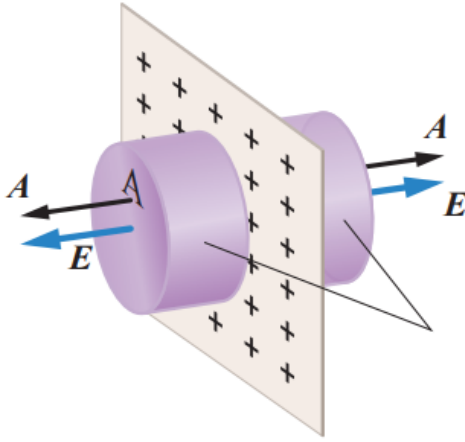
- ٢- تُعدّ الكرة الأرضية موصلًا كرويًا يحمل شحنة كهربائية سالبة، والقيمة المتوسطة لمجالها الكهربائي تساوي ( $150\text{ N/C}$ ) واتجاه الخطوط نحو مركز الأرض. إذا علمت أن نصف قطر الأرض ( $6367\text{ km}$ )؛ فأجب عما يأتي:
- أ- ما مقدار الكثافة السطحية للشحنة الكهربائية على سطح الأرض؟
- ب- ما مقدار الشحنة الكلية التي تحملها الأرض؟

- ٣- كرة فلزية نصف قطرها ( $20\text{ cm}$ ) وكرة فلزية ثانية نصف قطرها ( $10\text{ cm}$ )، تحملان شحنتين متساويتين ولا تؤثران في بعضهما. إذا كان المجال الكهربائي على بعد ( $30\text{ cm}$ ) من مركز الأولى ( $E_1$ )؛ فإنّ المجال الكهربائي على البعد نفسه من مركز الكرة الثانية يُعطى بالعلاقة:

$$\text{أ- } E_2 = 2E_1 \quad \text{ب- } E_2 = \frac{1}{2}E_1 \quad \text{ج- } E_2 = \frac{1}{4}E_1 \quad \text{د- } E_2 = E_1$$

## ❖ ثانياً: المجال الكهربائي لشحنة موزعة على قشرة مستوية لا نهائية الأبعاد

### Electric Field of an Infinite Plane Sheet of Charge



الشكل (13): قشرة رقيقة مستوية لا نهائية الأبعاد، مشحونة بشحنة موجبة.

يبين الشكل (13) مقطعاً من قشرة رقيقة مستوية لا نهائية الأبعاد، القشرة مشحونة بشحنة موجبة تتوزع على سطحها بكثافة سطحية منتظمة ( $\sigma$ )، 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 جزءاً من القشرة مساحته ( $A$ )، ونرسم سطح غاوس الذي يحيط بهذا الجزء على شكل اسطوانة مساحة كل من قاعدتيها ( $A$ ).
- نرسم متجه المساحة عمودياً على قاعدتي الأسطوانة، فيكون المتجه ( $A$ ) موازياً للمجال ( $\theta = 0^\circ$ ) على جانبي القشرة، أما السطح الجانبي للأسطوانة فلا تخترقه خطوط المجال.
- نطبق قانون غاوس لحساب التدفق الكلي عبر سطح غاوس:

$$E(2A) = \frac{q_{in}}{\epsilon_0}$$

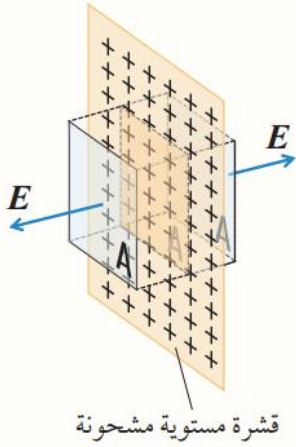
حيث يمثل ( $2A$ ) مجموع مساحتي وجهي الاسطوانة.

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

$$E = \frac{\sigma}{2 \epsilon_0}$$

توضح هذه العلاقة أن المجال الكهربائي للقشرة اللانهائية الأبعاد مجال منتظم لا يعتمد على بعد النقطة التي يقاس عندها المجال عن القشرة. وتستخدم لحساب مقدار المجال الكهربائي سواء كانت شحنة القشرة موجبة أو سالبة. حيث تعوض الكثافة السطحية للشحنة بدون الإشارة.

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



أفكر

هل يمكن التوصل إلى حساب المجال الكهربائي الناتج عن قشرة مشحونة لانهاية الأبعاد؛ بافتراض سطح غاوس الوهمي، على شكل مكعب مساحة وجهه  $(A)$ ، كما في الشكل. أوضح إجابتي.

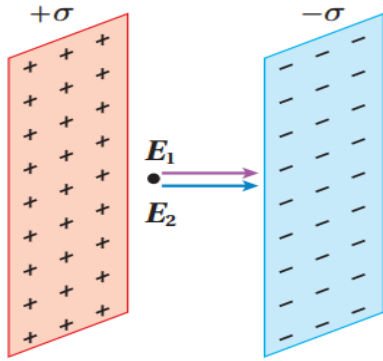
## المثال 5

قشرة رقيقة مشحونة بشحنة كهربائية سالبة موزعة عليها بانتظام بكثافة سطحية  $(8 \times 10^{-7} \text{ C/m}^2)$ . إذا كانت أبعاد القشرة كبيرة، فأجد المجال عند نقطة قريبة جداً من منتصف القشرة علماً ان السماحية الكهربائية للهواء  $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N.m}^2$ .

## المثال 6

كرة صغيرة مشحونة، كتلتها  $(10.0 \text{ g})$  وشحنتها  $(0.700 \mu\text{C})$ ، تستقر ساكنة فوق قشرة رقيقة مستوية لا نهائية الأبعاد مشحونة بشحنة موجبة تتوزع على سطحها بانتظام، أحسب الكثافة السطحية للشحنة الموزعة على سطح القشرة  $(g = 10.0 \text{ m/s}^2)$  علماً ان السماحية الكهربائية للهواء  $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N.m}^2$ .

## ❖ ثالثاً: المجال الكهربائي المنتظم Uniform Electric Field



الشكل (14): المجال الكهربائي عند نقطة بين صفيحتين متوازيتين مشحونتين يساوي المجال المحصل الناتج عن الصفيحتين.

يمكن الحصول على مجال كهربائي منتظم بوضع صفيحتين موصلتين متماثلتين متوازيتين ومتقابلتين، وتفصل بينهما مسافة قصيرة مقارنة بأبعادهما، كما يبين الشكل (14)، ثم شحنهما بشحنتين مختلفتين نوعاً، متساويتين مقداراً.

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 ( $E$ ) مساوياً لناتج جمع المجالين؛ لأنهما بالاتجاه نفسه.

$$E = E_1 + E_2 = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} + \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \Rightarrow E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

تذكر أن

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \text{ قشرة}$$

هذه العلاقة لحساب المجال الكهربائي المنتظم بين صفيحتين

حيث:

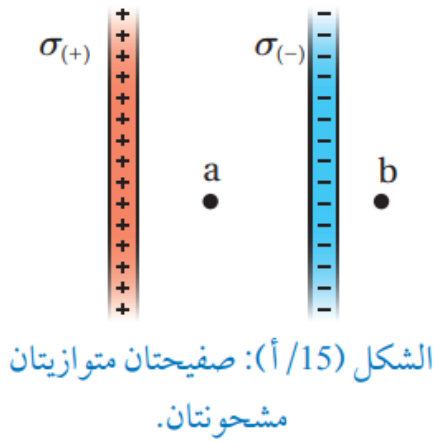
تقاس  $\sigma \rightarrow C/m^2$ : مقدار الكثافة السطحية للشحنة على الصفيحة الواحدة  
 $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} C^2/N.m^2$ : السماحية الكهربائية للهواء

عليك أن تعلم

$$F_E = Eq \text{ القوة الكهربائية}$$

✓ **أتحقق:** كيف يمكن حساب المجال الكهربائي في الحيز بين صفيحتين متوازيتين مشحونتين بشحنتين مختلفتين نوعاً متساويتين مقداراً؟

## المثال 7



يبين الشكل (15/أ) صفيحتان موصلتان مشحونتان بشحنتين كهربائيتين؛ إحداهما موجبة والأخرى سالبة، موزعة عليهما بانتظام؛ بكثافة سطحية  $(\sigma = 3.54 \times 10^{-7} \text{ C/m}^2)$ ، إذا كانت أبعاد الصفيحتين كبيرة بالنسبة للمسافة الفاصلة بينهما، أجد المجال الكهربائي عند كل من النقطتين (a)، و (b) علما ان السماحية الكهربائية للهواء  $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N.m}^2$ .

صفيحتان موصلتان مشحونتان بشحنتين كهربائيتين، إحداهما موجبة والأخرى سالبة، موزعة عليهما بانتظام بكثافة سطحية  $(\sigma)$ ، إذا كان المجال الكهربائي بين الصفيحتين  $(2 \times 10^4 \text{ N/C})$ ، واذا علمت ان السماحية الكهربائية للهواء  $(\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N.m}^2)$  احسب الكثافة السطحية للشحنة  $(\sigma)$

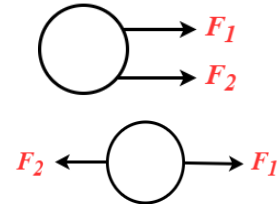
## ❖ حركة جسيم مشحون في مجال كهربائي منتظم

### Motion of a charged Particle in a Uniform Electric Field

👉 قبل أن نبدأ تذكر:

القانون الثاني لنيوتن  $\Rightarrow \sum F = ma$

عندما تكون القوى بنفس  
الاتجاه نجمع والاتجاه معهم  
عندما تكون القوى عكس  
الاتجاه نطرح والاتجاه مع الأكبر



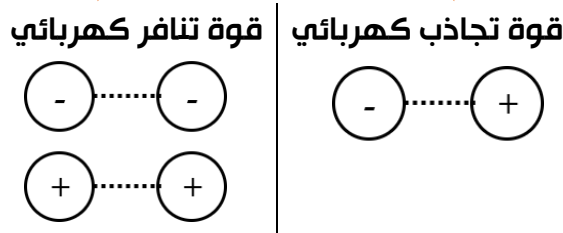
حيث:

معادلات  
الحركة  
بتسارع ثابت

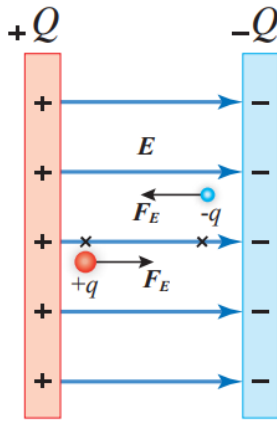
$$\begin{aligned} V_f &= V_i + at \\ V_f^2 &= V_i^2 + 2a\Delta X \\ \Delta X &= V_i t + \frac{1}{2}at^2 \end{aligned}$$

تقاس  $\sum F \rightarrow N$  محصلة القوى  
 $m \rightarrow kg$  الكتلة  
 $a \rightarrow m/s^2$  التسارع  
 $V_f \rightarrow m/s$  السرعة النهائية  
 $V_i \rightarrow m/s$  السرعة الابتدائية  
 $t \rightarrow s$  الزمن  
 $\Delta X \rightarrow m$  الإزاحة  
 $F_E \rightarrow N$  القوة الكهربائية  
 $E \rightarrow N/C$  المجال الكهربائي  
 $q \rightarrow C$  الشحنة الكهربائية

القوة الكهربائية  $F_E = Eq$



شحنة البروتون:  $q_p = 1.6 \times 10^{-19} C$   
شحنة الإلكترون:  $q_e = -1.6 \times 10^{-19} C$



الشكل (16): تتحرك الشحنة الموجبة والشحنة السالبة الموضوعتين في مجال كهربائي منتظم، باتجاهين متعاكسين.

## من هنا نبدأ

عندما يوضع جسيم مشحون في مجال كهربائي منتظم؛ فإن المجال يؤثر في الجسيم المشحون بقوة ثابتة في المقدار والاتجاه أينما كان موقعه داخل المجال.

### اتجاه القوة الكهربائية

إذا كان الجسيم موجب الشحنة فإن القوة الكهربائية يكون اتجاهها بنفس اتجاه المجال الكهربائي  
إذا كان الجسيم سالب الشحنة فإن القوة الكهربائية يكون اتجاهها بعكس اتجاه المجال الكهربائي

- وهنا سنهمل وزن الجسيم مقارنة بالقوة الكهربائية
- وهنا القوة الكهربائية ( $F_E$ ) هي القوة المحصلة ( $\sum F$ ) أي ان الجسيم يقع تحت تأثير القوة الكهربائية

يمكن تطبيق القانون الثاني لنيوتن لإيجاد تسارع الجسيم

$$\sum F = ma$$

↓

$$Eq = ma$$

$$a = \frac{Eq}{m} \quad \text{أي أن}$$

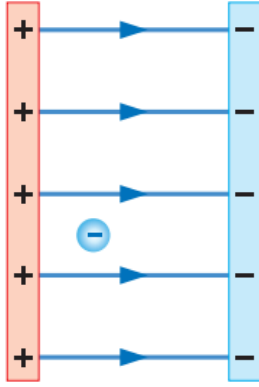
حيث:

$$\sum F = F_E$$

$$F_E = Eq$$

## تذكر التحويلات

$g \xrightarrow{\times 10^{-3}} kg$	$m = 10^{-3}$	$cm = 10^{-2}$
$mg \xrightarrow{\times 10^{-6}} kg$	$\mu = 10^{-6}$	
	$n = 10^{-9}$	$mm = 10^{-3}$
	$P = 10^{-12}$	



الشكل (17): جسيم مشحون في  
مجال كهربائي منتظم.

## المثال 8

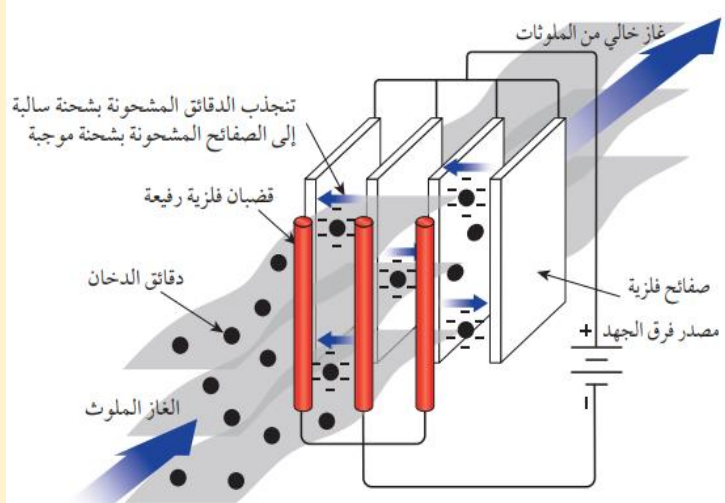
جسيم كتلته ( $200 \text{ mg}$ ) يحمل شحنة مقدارها  $(-4.00 \times 10^{-6} \text{ C})$ ، وضع في حالة سكون داخل مجال كهربائي منتظم مقداره  $5.40 \times 10^3 \text{ N/C}$ ، كما في الشكل (17). بإهمال قوة الجاذبية الأرضية بالنسبة إلى القوة الكهربائية، أحسب التسارع الذي يكتسبه الجسيم.

## المثال 9

جسيم كتلته ( $40 \text{ mg}$ ) يحمل شحنة سالبة ( $-5.0 \times 10^{-5} \text{ C}$ )، دخل مجالا كهربائيا منتظما بسرعة ابتدائية ( $600 \text{ m/s}$ )، باتجاه محور  $(+x)$ ، إذا كان مقدار المجال الكهربائي  $(3.2 \times 10^3 \text{ N/C})$ ، واتجاهه مع محور  $(+x)$ ، وبإهمال تأثير قوة الجاذبية الأرضية؛ فأحسب الزمن اللازم لتوقف الجسيم عن الحركة.

## الربط مع

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

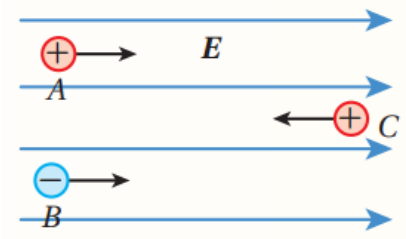


يحتوي الجهاز على قضبان فلزية رفيعة وصفائح فلزية تشحن باستخدام مصدر فرق جهد عال؛ فينشأ حول القضبان مجال كهربائي يؤدي إلى إكساب دقائق الدخان شحنة سالبة في أثناء مرورها عبر الجهاز، فتتجذب نحو الصفائح الفلزية المشحونة بشحنة موجبة.

- ١- **أستخدم الأرقام:** صفيحتان فلزيتان مشحونتان بشحنتين كهربائيتين متساويتين؛ إحدهما موجبة والأخرى سالبة، موزعة 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.

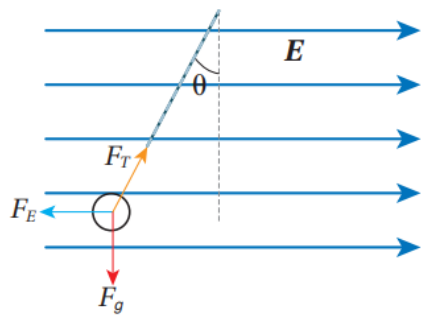
صفحتان متوازيتان مساحة كل منهما  $(A)$ ، شحنا بشحنتين مختلفتين نوعاً، ومقدار الشحنة على كل صفيحة  $(Q)$ ؛ فتولد في الحيز بينهما مجال كهربائي  $(E)$ . عند مضاعفة كل من  $(A)$  و  $(Q)$ ؛ فإن مقدار المجال الكهربائي يصبح:

- ١-  $\frac{E}{4}$       ٢-  $\frac{E}{2}$       ٣-  $E$       ٤-  $2E$



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؟

- ١- فقط  $A$       ٢-  $A$  و  $B$       ٣-  $A$  و  $C$       ٤-  $B$  و  $C$

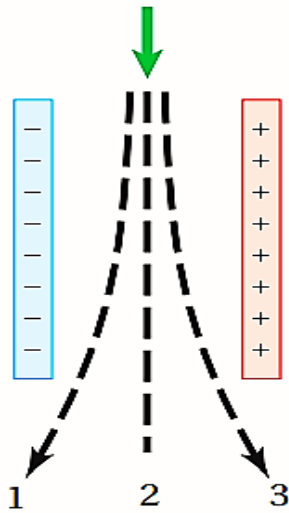


كرة صغيرة مشحونة وزنها  $(F_g)$ ، علقت رأسياً بخيط داخل مجال كهربائي منتظم مقداره  $(E)$ ، فأتزنت كما هو مبين في الشكل. مقدار شحنة الكرة، ونوعها يساوي:

- ١-  $\frac{F_g \tan \theta}{E}$ ، موجبة      ٢-  $\frac{F_g \tan \theta}{E}$ ، سالبة  
٣-  $\frac{E}{F_g \tan \theta}$ ، موجبة      ٤-  $\frac{E}{F_g \tan \theta}$ ، سالبة

## مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسية:** أصف المجال الكهربائي لموصل كروي مشحون، والمجال الكهربائي بين صفيحتين متوازيتين مشحونتين بشحنتين متساويتين مقداراً ومختلفتين نوعاً.



2. **أستنتج:** يتحرك إلكترون بسرعة ابتدائية باتجاه محور  $(-y)$ ،

ويدخل إلى منطقة مجال كهربائي منتظم في الحيز بين صفيحتين متوازيتين، كما يبين الشكل المجاور. فيتأثر بقوة كهربائية تكسبه تسارعاً ثابتاً.

١- ما اتجاه كل من القوة الكهربائية، والتسارع؟

٢- أحدد أي المسارات (1، 2، 3) يمثل مسار حركة الإلكترون داخل المجال، أفسر إجابتي.

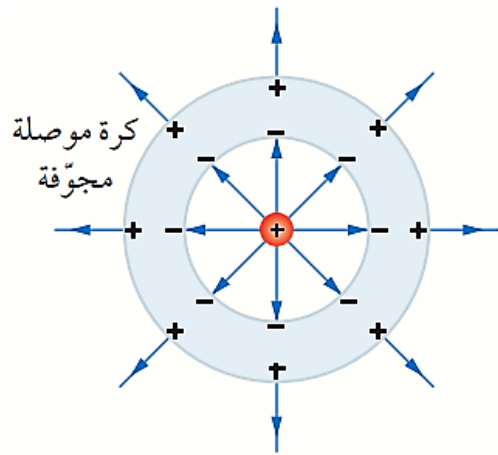
٣- عند دخول بوزترون (شحنته  $+e$  وكتلته تساوي كتلة

الإلكترون) يتحرك بالسرعة نفسها إلى منطقة المجال

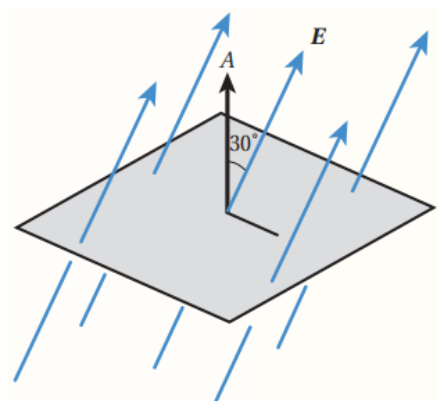
نفسه، أي المسارات (1، 2، 3) يمثل مساره داخل المجال؟

**استخدم الأرقام:** قشرة رقيقة تتوزع الشحنة على سطحها بانتظام وبكثافة سطحية  $(-3.00 \times 10^{-12} \text{ C/m}^2)$  أحسب مقدار القوة الكهربائية المؤثرة في إلكترون يوضع بالقرب من القشرة السماحية الكهربائية  $(\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N.m}^2)$ .

3. **أستخدم الأرقام:** صفيحتان فلزيتان مشحونتان بشحنتين كهربائيتين متساويتين؛ إحداهما موجبة والأخرى سالبة، موزعة 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.



4. **التفكير الناقد:** وضعت شحنة نقطية  $(+Q)$  في مركز كرة موصلة مجوفة ومتعادلة كهربائياً؛ فشحنت الكرة بالحث كما يبين الشكل المجاور. مستخدماً قانون غاوس، أصف المجال الكهربائي عند نقطة تقع داخل مادة الكرة، وعند نقطة تقع خارج الكرة.



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

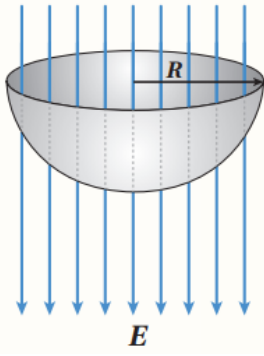
① مربع طول ضلعه  $(l)$ ، تخترقه خطوط مجال كهربائي منتظم كما يبين الشكل المجاور، فيكون التدفق عبره  $(\Phi)$ . فإن مقدار المجال  $(E)$  يساوي:

أ-  $\frac{\Phi}{l^2 \cos 30^\circ}$

ب-  $\frac{\Phi}{l^2 \sin 30^\circ}$

ج-  $\frac{\Phi}{l \cos 30^\circ}$

د-  $\frac{l^2 \cos 30^\circ}{\Phi}$



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:

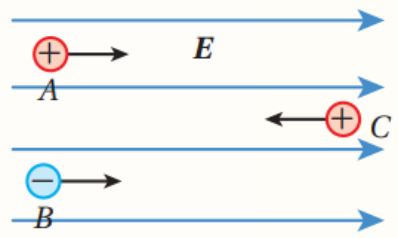
$\pi R^2 E$  -أ  
 $2\pi R E$  -ج  
 $-\pi R^2 E$  -ب  
 $-2\pi R E$  -د

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

$\frac{E}{4}$  -أ  
 $\frac{E}{2}$  -ب  
 $E$  -ج  
 $2E$  -د

④ كرة موصلة نصف قطرها ( $R$ )، وكرة موصلة ثانية نصف قطرها ( $\frac{R}{2}$ )، تحملان شحنتين متساويتين، ولا تؤثران في بعضهما بعضاً. 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:

$E_2 = 2E_1$  -أ  
 $E_2 = \frac{1}{2}E_1$  -ب  
 $E_2 = \frac{1}{4}E_1$  -ج  
 $E_2 = E_1$  -د



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

$A$  فقط -أ  
 $A$  و  $B$  -ب  
 $A$  و  $C$  -ج  
 $B$  و  $C$  -د

## الدرس الثاني: الجهد الكهربائي Electric Potential

### الفكرة الرئيسية:

عندما يتحرك جسيم مشحون في مجال كهربائي؛ فإن المجال يؤثر فيه بقوة كهربائية يمكن أن تبذل شغلا على الجسيم. هذا الشغل يوصف باستخدام مفهومين هما؛ طاقة الوضع الكهربائية، وفرق الجهد الكهربائي.

### الجهد الكهربائي (Electric)

رمزه (V)

يقاس بوحدة فولت (V) حيث:  $V = J/C$

كمية قياسية

هو طاقة الوضع الكهربائية (P.E) لوحدة الشحنات الموضوعة عند النقطة

$$V = \frac{W}{q_0} = \frac{P.E}{q_0}$$

حيث:  $W = P.E$

### ملاحظة

الجهد الكهربائي عند نقطة: هو خاصية للشحنة المولدة للمجال، ولا يعتمد على الشحنة الموضوعة عند النقطة.

### طاقة الوضع الكهربائية (Electric Potential Energy)

رمزها (P.E)

تقاس بوحدة الجول (J)

كمية قياسية

هي الشغل المبذول لنقل شحنة كهربائية في نظام (الشحنة - المجال الكهربائي) من اللانهاية الى نقطة ما داخل المجال الكهربائي

$$P.E = W$$

هي حاصل ضرب جهد النقطة في الشحنة الموضوعة عند تلك النقطة

$$P.E = q_0 V$$

## التغير في طاقة الوضع

رمزها  $(\Delta P.E)$

تقاس بوحدة جول ( $J$ )

كمية قياسية

هو الشغل المبذول لنقل شحنة كهربائية ( $q$ ) بين اي نقطتين.

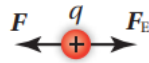
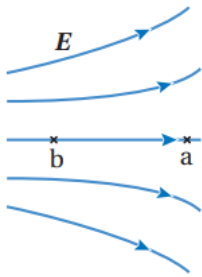
$$\Delta P.E = W$$

$$\Delta P.E = P.E_f - P.E_i$$

$$\Delta P.E = q(V_f - V_i)$$

$$\Delta P.E = q \Delta V$$

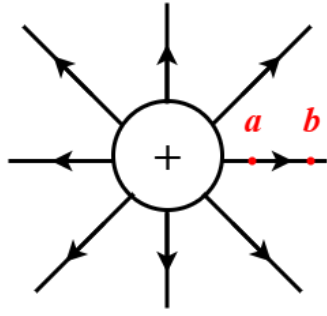
## ✳️ الربط بين الجهد الكهربائي وطاقة الوضع الكهربائية



الشكل (18): نقل شحنة اختبار من اللانهاية إلى نقطة في مجال كهربائي.

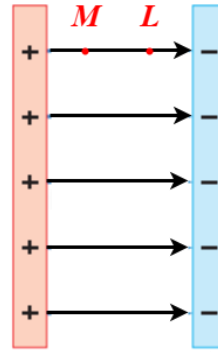
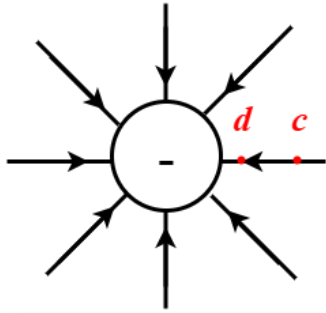
تعلمت مسبقاً أنه عند نقل شحنة اختبار ( $+q_0$ ) بسرعة ثابتة من اللانهاية إلى نقطة في مجال كهربائي، كما يبين الشكل (18)، فإنه يلزم التأثير في الشحنة بقوة خارجية، تبذل عليها شغلاً ( $W$ )، وبافتراض أن اللانهاية هي النقطة المرجعية التي تكون طاقة الوضع الكهربائية عندها صفراً؛ فإن هذا الشغل يخترن في نظام (الشحنة - المجال الكهربائي) على شكل طاقة وضع كهربائية ( $PE$ )، وسنشير إليها بأنها طاقة الوضع الكهربائية للشحنة الموضوعة عند نقطة في المجال الكهربائي.

✓ **أتحقق:** ما الفرق بين الجهد الكهربائي وطاقة الوضع الكهربائية؟



عليك أن تعلم

الجهد الكهربائي عند نقطة: هو خاصية للشحنة المولدة للمجال، ولا يعتمد على الشحنة الموضوعة عند النقطة.



دائما وابتدا خطوط المجال الكهربائي باتجاه تناقص الجهد الكهربائي

عليك أن تعلم

سنعامل مع أنظمة محافظة والطاقة الميكانيكية محفوظة ( $M E_i = M E_f$ ) وهذا يعني ان الزيادة في الطاقة الحركية ( $K.E$ ) يقابله نقصان مساوي في طاقة الوضع الكهربائية ( $P.E$ ) والعكس صحيح ( $\Delta K.E = -\Delta P.E$ )

## توضيح:

إذا تحركت شحنة كهربائية (موجبة أو سالبة) من السكون تحت تأثير القوة الكهربائية فقط وباتجاهها، فإن ذلك يؤدي إلى زيادة طاقتها الحركية، مقابل نقصان مساوي في الطاقة الوضع الكهربائية؛ لأن القوة الكهربائية قوة محافظة فتكون الطاقة الميكانيكية للنظام محفوظة ( $\Delta K.E + \Delta P.E = 0$ ) أي ان النقصان في أحد شكلي الطاقة يقابله زيادة مساوية في الشكل الآخر.

عليك أن تعلم

عندما يتحرك الجسم بسرعة ثابتة فان ( $w_{tot} = 0$ ) و ( $a = 0$ ) و ( $\sum F = 0$ )

## ✿ العلاقة بين الشغل والتغير في طاقة الوضع الكهربائية

### 👉 تذكر حفظ الطاقة الميكانيكية

✿ عندما تكون القوة الكهربائية هي القوة الوحيدة المؤثرة في الشحنة فإن مجموع الطاقة الميكانيكية للنظام تكون محفوظة.

أي ان الطاقة الميكانيكية للنظام محفوظة

$$ME_i = ME_f$$

$$\Delta ME = 0$$

$$\Delta KE + \Delta P.E = 0$$

هذا يعني ان النقصان في الطاقة الحركية يقابله زيادة في طاقة الوضع والعكس صحيح

$$\Delta KE = -\Delta P.E$$

$ME$ : الطاقة الميكانيكية

$\Delta ME$ : التغير في الطاقة الميكانيكية

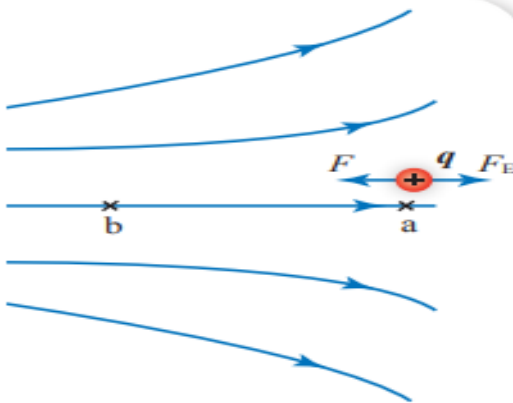
$KE$ : الطاقة الحركية

$\Delta KE$ : التغير في الطاقة الحركية

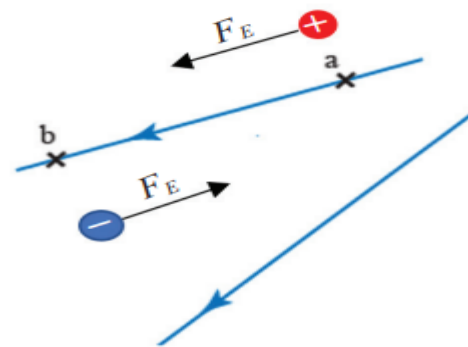
$P.E$ : طاقة الوضع

$\Delta P.E$ : التغير في طاقة الوضع

👉 مهم جداً

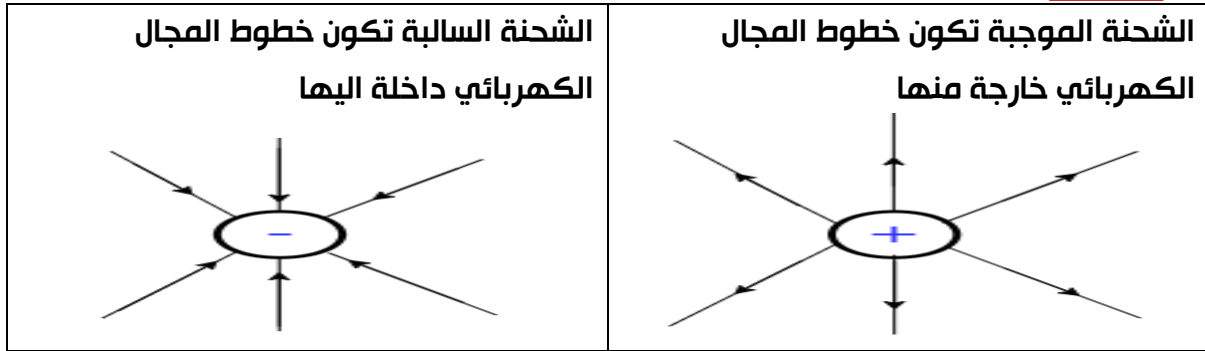


الشكل (36): عند نقل شحنة موجبة بسرعة ثابتة من النقطة (a) إلى النقطة (b) يلزم التأثير فيها بقوة خارجية مساوية في المقدار ومعاكس في الاتجاه للقوة الكهربائية.  
أصف التغيرات في طاقة الوضع الكهربائية والطاقة الحركية للشحنة عند انتقالها من (a) إلى (b).



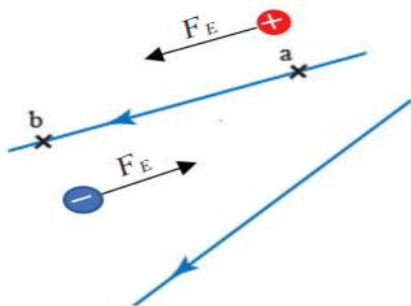
الشكل (35): الشحنة الموجبة تتأثر بقوة كهربائية باتجاه المجال والشحنة السالبة تتأثر بقوة كهربائية عكس اتجاه المجال. وحركة الشحنة باتجاه القوة الكهربائية يؤدي إلى نقصان طاقة الوضع الكهربائية مقابل زيادة مساوية في الطاقة الحركية.

## تذكر أن



## الشغل المبذول لنقل الشحنة داخل المجال الكهربائي

### ① شغل القوة الكهربائية



رمزه  $(W_E)$

تقاس بوحدة  $(J)$

كمية قياسية

عندما تنتقل الشحنة الموضوعة  $(q)$  بين نقطتين تحت تأثير قوة المجال الكهربائي أي لوحدها دون تأثير قوة خارجية فإن هذه القوة تكون قوة كهربائية و تبذل شغلاً كهربائياً على الشحنة الموضوعة  $(q)$ . ويكون مقدار الشغل الكهربائي موجبا

هنا يكون التغير في طاقة الوضع الكهربائية سالبا

القانون:

$$W = -W_E$$

$$W_{tot.} = 0$$

الشغل الكلي المبذول

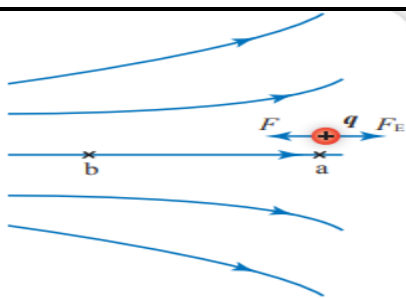
على الشحنة يساوي صفراً

$$W_E = -\Delta P \cdot E$$

$$W_E = -q\Delta V$$

$$W_E = -q(V_f - V_i)$$

### ② شغل القوة الخارجية



رمزه  $(W)$

يقاس بوحدة  $(J)$

كمية قياسية

عندما تنتقل الشحنة الموضوعة  $(q)$  بين نقطتين تحت

تأثير قوة خارجية بسرعة ثابتة أي ليست لوحدها و بعكس اتجاه قوة تأثير المجال

الكهربائي فإن هذه القوة الخارجية تبذل شغلاً خارجياً على الشحنة الموضوعة  $(q)$

هنا يكون التغير في الطاقة الوضع الكهربائية موجبا. ويكون مقدار الشغل الخارجي سالبا

القانون:

$$W_F = +\Delta P \cdot E$$

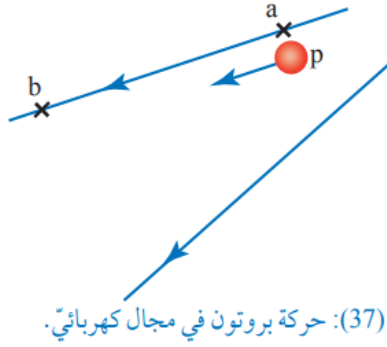
$$W_F = +q\Delta V$$

$$W_F = +q(V_f - V_i)$$

## من المهم أنه تميز بين حالتين.

1 حركة الشحنة بتأثير القوة الكهربائية فقط، فتكون الطاقة الميكانيكية محفوظة لأن (القوة الكهربائية قوة محافظة)

2 حركة الشحنة بسرعة ثابتة، بتأثير قوة خارجية مساوية للقوة الكهربائية ومعاكسة لها في الاتجاه هنا يكون  $(w_{tot} = 0)$  و  $(a = 0)$  و  $(\sum F = 0)$ .



الشكل (37): حركة بروتون في مجال كهربائي.

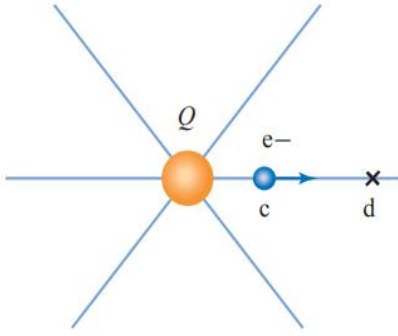
### المثال 1

تحرك بروتون من النقطة  $a$  إلى النقطة  $b$  باتجاه المجال الكهربائي كما في الشكل (37). إذا علمت أن فرق الجهد بين النقطتين  $(V_b - V_a = -5 V)$  وشحنة البروتون  $1.6 \times 10^{-19} C$ ؛ فأحسب:

أ- شغل القوة الكهربائية المبذول لتحريك البروتون من  $a$  إلى  $b$ .

ب- التغير في طاقة الوضع الكهربائية للبروتون.

## المثال 2

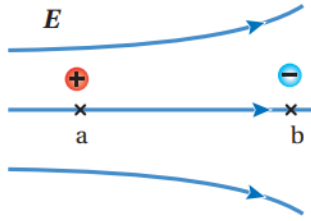


الشكل (38): إلكترون موضوع في مجال الشحنة  $Q$ .

وضع إلكترون في حالة السكون عند النقطة  $c$ ، في المجال الكهربائي للشحنة  $Q$ ؛ فتحرّك بفعل قوة المجال الكهربائي إلى النقطة  $d$  كما في الشكل (38) ليخسر من طاقة وضعه الكهربائية  $3.2 \times 10^{-18} \text{ J}$  إذا علمت أن شحنة الإلكترون  $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ ؛ فأجيب عما يأتي:

- أحدّد اتجاه خطوط المجال الكهربائي.
- أحسب مقدار فرق الجهد بين النقطتين  $\Delta V_{cd}$ .
- أيهما أكبر، جهد النقطة  $c$  أم النقطة  $d$ ؟
- أحسب مقدار الشغل الذي بذلته القوة الكهربائية في تحريك الإلكترون من النقطة  $c$  إلى النقطة  $d$ .
- أحسب جهد النقطة  $d$  علماً أن جهد النقطة  $c$  يساوي  $6 \text{ V}$ .

H.W



الشكل (19): حركة شحنتين في مجال كهربائي باتجاه القوة الكهربائية.

## المثال 3

شحنتان نقطيتان  $(+q)$  و  $(-q)$ ، وضعتا في حالة السكون عند النقطتين  $(a)$  و  $(b)$  في مجال كهربائي، كما يبين الشكل (19)،

أستعين بالشكل للإجابة عن الأسئلة الآتية:

- ١- أي النقطتين  $(a)$  أم  $(b)$  الأعلى جهداً؟ أفسر إجابتي.
- ٢- أحدد اتجاه القوة الكهربائية المؤثرة في كل من الشحنتين.
- ٣- أصف التغير في كل من: طاقة الحركة، وطاقة الوضع الكهربائية للشحنتين في أثناء حركتهما داخل المجال بدءاً من السكون.

الحل:

- ١- النقطة  $(a)$  أعلى جهداً من النقطة  $(b)$ ؛ لأن اتجاه خط المجال يكون دائماً باتجاه تناقص الجهد؛ أي من النقطة الأعلى جهداً إلى النقطة الأقل جهداً.
- ٢- الشحنة  $(+q)$  تتأثر بقوة كهربائية باتجاه محور  $(+x)$  والشحنة  $(-q)$  تتأثر بقوة كهربائية باتجاه محور  $(-x)$ .
- ٣- طاقة الحركة تزداد، وطاقة الوضع تقل لكل من الشحنتين. إذا تحركت شحنة كهربائية (موجبة أو سالبة) من السكون تحت تأثير القوة الكهربائية فقط وباتجاهها، فإن ذلك يؤدي إلى زيادة طاقتها الحركية، مقابل نقصان مساوٍ في الطاقة الوضع الكهربائية؛ لأن القوة الكهربائية قوة محافظة فتكون الطاقة الميكانيكية للنظام محفوظة،  $(\Delta K.E + \Delta P.E = 0)$ ؛ أي أن النقصان في أحد شكلي الطاقة يقابله زيادة مساوية في الشكل الآخر.

**أستنتج:** في الشكل (19)، لنقل شحنة  $(+q)$  من  $(b)$  إلى  $(a)$  بسرعة ثابتة يلزم التأثير فيها بقوة خارجية مساوية للقوة الكهربائية مقداراً ومعاكسة لها اتجاهاً.

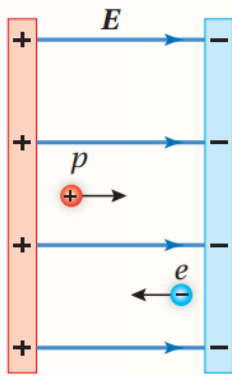
- ١- هل تبذل القوة الخارجية شغلاً موجباً أم سالباً؟
- ٢- ما الشغل الكلي المبذول على الشحنة؟ أفسر إجابتي مستخدماً مبرهنة (الشغل - الطاقة الحركية)؛  $W_{Total} = \Delta KE$ .
- ٣- أصف التغير في طاقة الوضع الكهربائية للشحنة المنقولة.

## الربط بالتكنولوجيا

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



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 يُظهر النشاط الكهربائي للقلب، مما يساعد الأطباء في تقييم صحة القلب.



- ✍ إلكترون وبروتون بدأ بالحركة من السكون بالقرب من صفيحتين فلزييتين، 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.
  - ج- البروتون والإلكترون متساويان في الطاقة الحركية.
  - د- الطاقة الحركية للإلكترون أكبر من الطاقة الحركية للبروتون.

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

- أ- أعلى من جهد الصفيحة  $(Y)$  بمقدار  $(4 \text{ V})$ .
- ب- أقل من جهد الصفيحة  $(Y)$  بمقدار  $(4 \text{ V})$ .
- ج- أعلى من جهد الصفيحة  $(Y)$  بمقدار  $(0.25 \text{ V})$ .
- د- أقل من جهد الصفيحة  $(Y)$  بمقدار  $(0.25 \text{ V})$ .

## ❖ سطوح تساوي الجهد Equipotential Surfaces

تعلمت من دراستي للمجال الكهربائي المنتظم أن الجهد الكهربائي يكون متساوياً عند النقاط الواقعة جميعها على سطح عمودي على المجال، مثل هذا السطح يعرف بـسطح تساوي جهد.

**سطح تساوي الجهد Equipotential Surface** هو السطح الذي يكون الجهد الكهربائي عند نقاطه جميعها متساوياً. ويبين الشكل (أ/29) سطوح تساوي الجهد لمجال كهربائي منتظم، حيث تبدو السطوح متوازية والمسافات بينها متساوية.

أما الشكل (ب/29)؛ فيبين سطوح تساوي الجهد لشحنة نقطية موجبة، وهي سطوح كروية متحدة المركز مع الشحنة، كذلك بين الشكل (ج/29) أن سطوح تساوي الجهد لموصل كروي مشحون تكون كروية الشكل، وتتحد معه بالمركز، ويعد سطح الموصل المشحون سطح تساوي جهد.

يمثل كل سطح تساوي جهد مقداراً محدداً من الجهد الكهربائي كما هو مبين في الشكل (ب/29). ويكون فرق الجهد بين أي نقطتين على سطح تساوي الجهد مساوياً للصفر. ولا يلزم بذل شغل لنقل شحنة من نقطة إلى أخرى على سطح تساوي الجهد نفسه. كما أن لخطوط المجال الكهربائي خصائص معينة؛ فإن لسطوح تساوي الجهد كذلك خصائص يمكن ملاحظتها من الشكل (29) وهي:

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

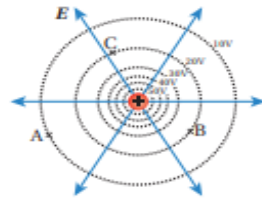
### ملاحظة

دائماً سطوح تساوي الجهد عمودية على خطوط المجال الكهربائي

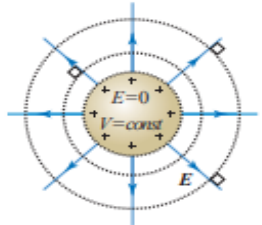
👉 ما المقصود بـسطح تساوي الجهد؟



الشكل (أ/29): سطوح تساوي الجهد لمجال كهربائي منتظم.

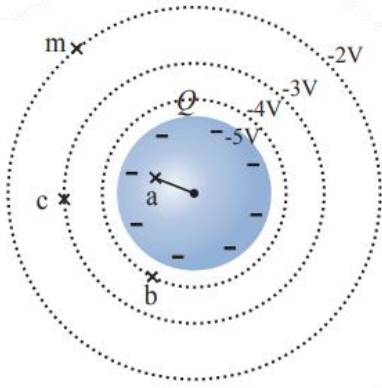


الشكل (ب/29): سطوح تساوي الجهد لشحنة نقطية موجبة.



الشكل (ج/29): الجهد الكهربائي لموصل كروي مشحون وسطوح تساوي الجهد حوله.

## المثال 4



الشكل (30): سطوح تساوي الجهد حول موصل كروي مشحون.

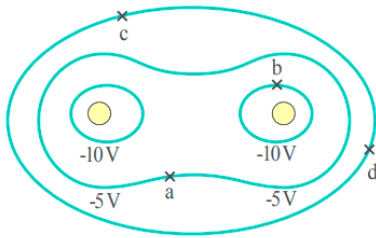
بناءً على الشكل (30) الذي يُمثل سطوح تساوي الجهد لموصل كروي مشحون بشحنة سالبة، أحسب:

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

٢- الشغل الذي تبذله القوة الخارجية؛ لنقل إلكترون بسرعة ثابتة من النقطة  $m$  إلى النقطة  $c$ .

٣- شحنة الموصل، علماً أن نصف قطره  $9 \text{ cm}$ .

## تمرين

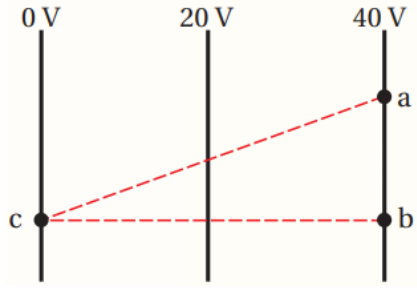


الشكل (31): سطوح تساوي الجهد لشحنتين نقطيتين.

**أستخدم الأرقام:** يبين الشكل (31) سطوح تساوي الجهد لشحنتين نقطيتين سالتين متساويتين في المقدار. أجب عما يأتي:

١- أحسب فرق الجهد  $(V_a - V_b)$ .

٢- هل يلزم بذل شغل لنقل بروتون من النقطة  $c$  إلى النقطة  $d$ ؟ أفسر إجابتي.



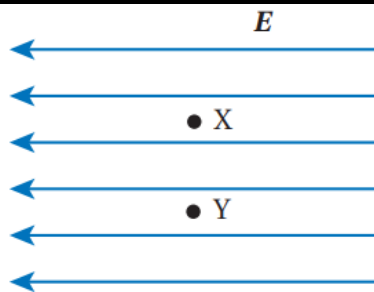
❖ يبين الشكل سطوح تساوي جهد كهربائي ناتج عن مجال كهربائي منتظم. بالاعتماد على البيانات المثبتة على الشكل، أجب عن الفقرتين الآتيتين:

① يكون اتجاه المجال الكهربائي باتجاه محور:

- x -  
 -y -  
 +x -  
 +y -

② تزداد طاقة الوضع الكهربائية لشحنة سالبة عند انتقالها من:

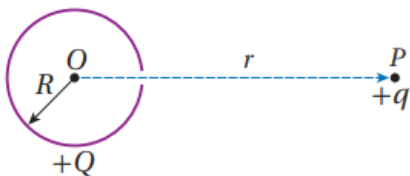
- النقطة (a) إلى النقطة (b).  
 - النقطة (b) إلى النقطة (c).  
 - النقطة (c) إلى النقطة (a).  
 - النقطة (b) إلى النقطة (a).



جسمان (X, Y) مشحونان بشحنتين متساويتين، أطلقا من السكون داخل مجال كهربائي منتظم، من النقطة نفسها، كما يبين الشكل. وبعد مرور مدة من الزمن وجد أن سرعة الجسم (X) أكبر من سرعة الجسم (Y). المعلومة المؤكدة التي أستنتجها عن الجسمين:

- القوة الكهربائية المؤثرة في الجسم (X) أقل من المؤثرة في الجسم (Y).  
 - الطاقة الحركية للجسم (X) أقل من الطاقة الحركية للجسم (Y).  
 - كتلة الجسم (X) أقل من كتلة الجسم (Y).  
 - شغل القوة الكهربائية على الجسم (X) أقل من الشغل على الجسم (Y).

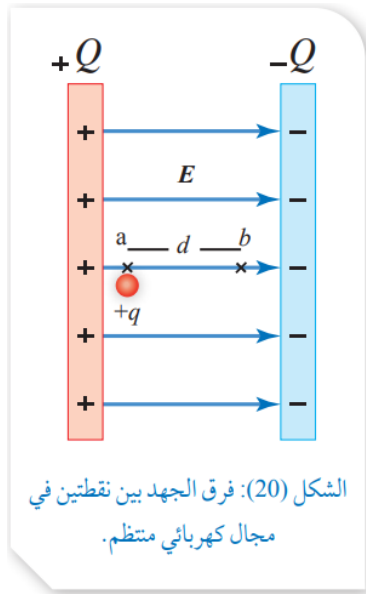
شحنة نقطية (+q) موضوعة عند نقطة (P) تبعد مسافة (r) عن مركز كرة مجوفة غير موصلة، نصف قطرها (R)، ومشحونة بشحنة (+Q) تتوزع على سطحها بانتظام، ويوجد على سطحها فتحة صغيرة كما هو مبين في الشكل. لنقل الشحنة (+q) من النقطة (P) إلى مركز الكرة (O) بسرعة ثابتة، بفعل قوة خارجية فإن شغل القوة الخارجية يساوي:



- $\frac{k q Q}{r}$   
 -  $\frac{k q Q}{R}$   
 -  $\frac{k (Q - q)}{R}$   
 -  $k q Q \left( \frac{1}{R} - \frac{1}{r} \right)$

## ❖ فرق الجهد في المجال الكهربائي المنتظم

### Potential Difference in a Uniform Electric Field



عند وضع شحنة موجبة  $+q$  عند نقطة مثل  $a$  في مجال كهربائي منتظم  $E$  كما في الشكل (20)، فإنها تتأثر بقوة كهربائية حسب العلاقة:  $F_E = qE$ ، والشغل الذي تبذله القوة الكهربائية لتحريك تلك الشحنة من النقطة  $a$  إلى النقطة  $b$ ، يُعطى بالعلاقة:

$$W_{a \rightarrow b} = F \cdot d$$

حيث  $d$  الإزاحة من النقطة  $a$  إلى النقطة  $b$ . وبتعويض مقدار القوة الكهربائية فإن علاقة الشغل تؤول إلى:

$$W_{a \rightarrow b} = q F \cdot d = qEd \cos \theta$$

وبما أن شغل القوة الكهربائية يرتبط بفرق الجهد بالعلاقة الآتية:

$$W_{a \rightarrow b} = -q \Delta V = -q(V_b - V_a)$$

وبمساواة المعادلتين السابقتين للشغل:

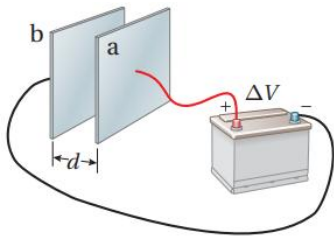
$$\Delta V = (V_b - V_a) = -Ed \cos \theta$$

تستخدم هذه العلاقة لحساب فرق الجهد  $(V_b - V_a)$  بين نقطتين في المجال الكهربائي المنتظم فقط.

حيث  $E$ : مقدار المجال الكهربائي المنتظم.

$d$ : مقدار الإزاحة من نقطة البداية  $a$  إلى نقطة النهاية  $b$  ( $d_{a \rightarrow b}$ ).

$\theta$ : الزاوية بين اتجاه المجال  $E$  واتجاه الإزاحة  $d$  ( $0^\circ < \theta < 180^\circ$ ).



الشكل (21): شحن صفيحتين متوازيتين بوصلهما بقطبي بطارية.

يمكن الحصول على مجال كهربائي منتظم في الحيز بين صفيحتين متوازيتين مشحونتين بشحنتين متساويتين مقداراً ومختلفتين نوعاً، عندما تكون المسافة بين الصفيحتين صغيرة مقارنة بأبعاد الصفيحتين. ويمكن شحن الصفيحتين بوصلهما بقطبي بطارية، كما يبين الشكل (21)، فإذا كان فرق الجهد بين قطبي البطارية  $(\Delta V)$ ؛ سينشأ بين الصفيحتين فرق جهد  $(\Delta V)$  مساو لفرق جهد البطارية.

باستخدام العلاقة  $(V_b - V_a = -Ed \cos \theta)$ ؛ يمكن التوصل إلى أن مقدار المجال الكهربائي بين الصفيحتين يعطى بالصورة الآتية:

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

حيث:  $|\Delta V|$  القيمة المطلقة لفرق الجهد بين الصفيحتين.

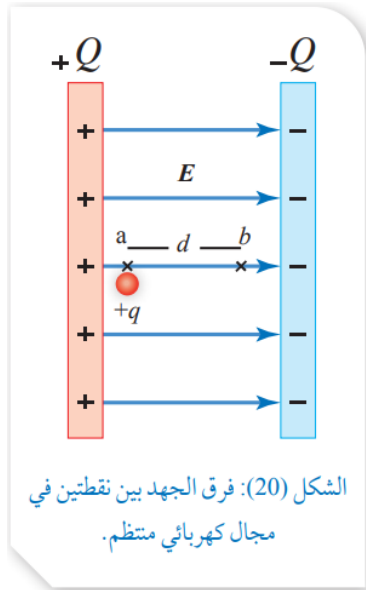
( $d$ ) البعد بين الصفيحتين.

توضح هذه العلاقة أنه يمكن التعبير عن وحدة المجال الكهربائي بالصورة ( $V/m$ )، وبذلك يمكن وصف المجال الكهربائي بأنه مقياس لتغير الجهد مع تغير الموقع.

أفكر

وحدة قياس المجال الكهربائي في النظام العالمي للوحدات هي ( $N/C$ )، وبحسب العلاقة

$\frac{\Delta V}{d}$ ؛ فإن وحدة المجال ( $V/m$ ). أثبت أن:  $1 N/C = 1 V/m$



## المختصر

$$W_{a \rightarrow b} = F \cdot d \cos \theta$$

$$= q E d \cos \theta$$

$$W_{a \rightarrow b} = -q \Delta V$$

$$W_{a \rightarrow b} = -q(V_b - V_a)$$

$$\Delta V = -E d \cos \theta$$

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

القوة الكهربائية:  $F \rightarrow N$

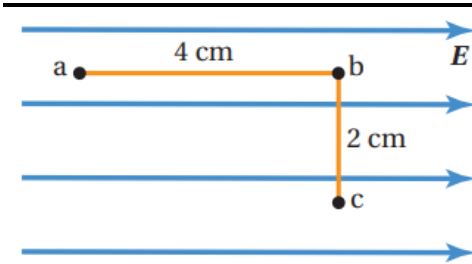
الإزاحة:  $d \rightarrow m$

الشحنة الموضوعة:  $q \rightarrow C$

شغل القوة الكهربائية:  $W \rightarrow J$

فرق الجهد الكهربائي:  $\Delta V \rightarrow V$

المجال الكهربائي:  $E \rightarrow N/C$  أو  $V/m$



الشكل (22): ثلاث نقاط داخل مجال كهربائي منتظم.

## المثال 5

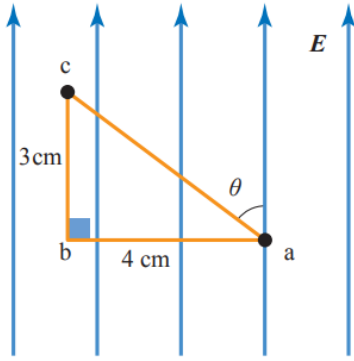
مجال كهربائي منتظم مقداره  $(2 \times 10^4 V/m)$  تقع داخله ثلاث نقاط  $(a, b, c)$ ، كما في الشكل (22)، أحسب:

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

٢- التغير في طاقة الوضع الكهربائية لشحنة

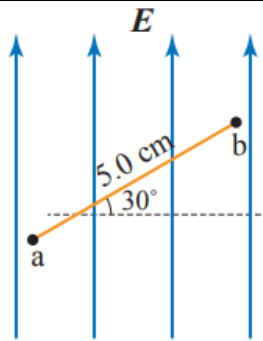
$(q = 3 \times 10^{-9} C)$  عند انتقالها من النقطة  $(a)$  إلى النقطة  $(b)$ .

## المثال 6



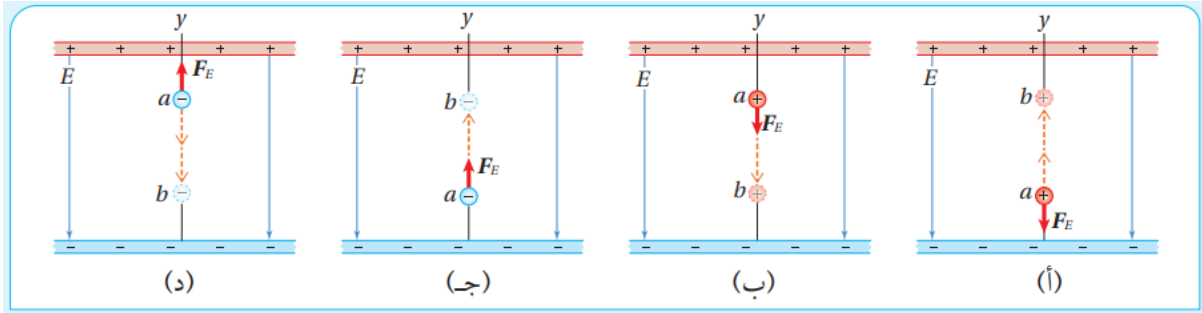
الشكل (23): ثلاث نقاط في مجال منتظم.

- يمثل الشكل (23) مجالا كهربائيا منتظما، تقع داخله ثلاث نقاط  $(a, b, c)$ . إذا علمت أن فرق الجهد  $(V_c - V_b = -600 V)$ ، أحسب ما يأتي:
- مقدار المجال الكهربائي.
  - فرق الجهد  $(V_c - V_a)$ .



- أستخدم الأرقام: مجال كهربائي منتظم مقداره  $3.0 \times 10^4 N/C$  كما في الشكل، مستعينا بالشكل أحسب:
- فرق الجهد  $(V_a - V_b)$ .
  - التغير في طاقة الوضع الكهربائية لشحنة مقدارها  $(-6.0 pC)$  عند انتقالها من النقطة a إلى النقطة b.

أربع شحنات تتحرك في مجال كهربائي منتظم، كما هو مبين 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 ( $b$ ). مستعينا بالبيانات المثبتة في الشكل؛ أجب عن الأسئلة الآتية:

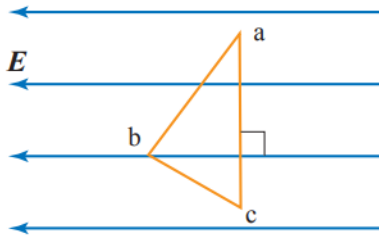


الشكل (24): أربع شحنات تتحرك في مجال كهربائي منتظم.

١- **أحدد:** هل تبذل القوة الكهربائية شغلا موجبا أم سالبا لكل حالة من الحالات المبينة في الشكل؟

٢- **أستنتج:** ماذا يحدث لطاقة الوضع الكهربائية المخزنة في الشحنة عند انتقالها بين النقطتين؟

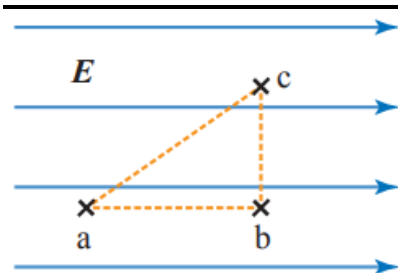
٣- **أستنتج:** العلاقة بين التغير في طاقة الوضع الكهربائية المخزنة في الشحنة، واتجاه حركتها في المجال.



🔴 **التفكير الناقد:** (3) نقاط  $(a, b, c)$  في مجال كهربائي منتظم كما في الشكل، إذا بذلت القوة الكهربائية شغلا مقداره  $(100 J)$  لنقل بروتون من النقطة  $a$  إلى النقطة  $b$ ، فأحسب:

أ- التغير في طاقة الوضع الكهربائية عند انتقال البروتون من النقطة  $a$  إلى النقطة  $c$ .

ب- الشغل الذي تبذله القوة الكهربائية لنقل البروتون من النقطة  $c$  إلى النقطة  $b$ .



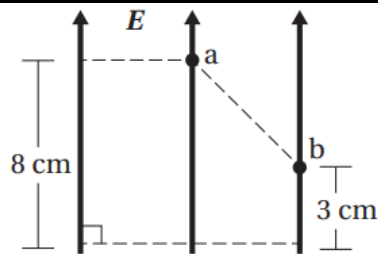
🔴 **تردد طاقة الوضع الكهربائية لبروتون في مجال كهربائي منتظم، كما في الشكل، عند انتقاله:**

أ- من النقطة  $c$  إلى النقطة  $b$ .

ب- من النقطة  $b$  إلى النقطة  $c$ .

ج- من النقطة  $a$  إلى النقطة  $c$ .

د- من النقطة  $c$  إلى النقطة  $a$ .



🔴 **اعتمادًا على البيانات المثبتة على الشكل، وإذا علمت أن**

**مقدار المجال الكهربائي المنتظم  $(100 V/m)$ ؛ فإن**

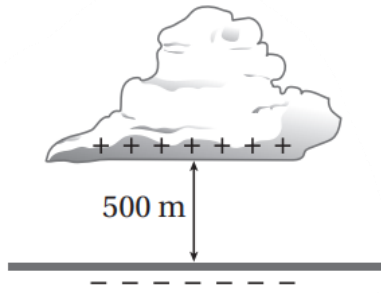
**فرق الجهد  $(V_a - V_b)$  يساوي:**

أ-  $5 V$

ب-  $-5 V$

د-  $8 V$

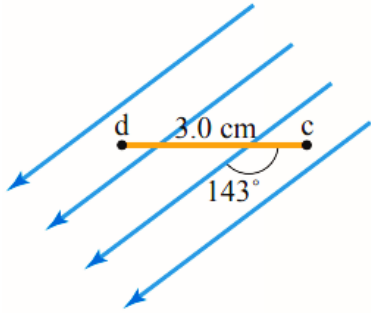
ج-  $-8 V$



يبين الشكل سحابة رعدية على ارتفاع  $(500 \text{ m})$  من سطح الأرض. فرق الجهد بين السطح السفلي للسحابة وسطح الأرض  $(200 \text{ MV})$ . بافتراض المجال الكهربائي بين السحابة والأرض منتظما؛ فإن 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-  $8.0 \times 10^{-4} \text{ N}$     ج-  $1.6 \times 10^{-3} \text{ N}$     د-  $0.40 \text{ N}$

استخدم الأرقام: جسيم مشحون بشحنة موجبة اكتسب طاقة وضع كهربائية مقدارها  $(1.6 \times 10^{-16} \text{ J})$  خلال تحركه مسافة  $(3 \text{ cm})$  في مجال كهربائي منتظم مقداره  $(2 \times 10^4 \text{ V/m})$ ، أحسب شحنة الجسيم.



٣ استخدم الأرقام: نقطتان  $c$  و  $d$  في مجال كهربائي منتظم

مقداره  $(3.0 \times 10^3 \text{ V/m})$  كما في الشكل، أحسب:

١- فرق الجهد الكهربائي  $(V_c - V_d)$

٢- الشغل المبذول بواسطة قوة خارجية لنقل بروتون من

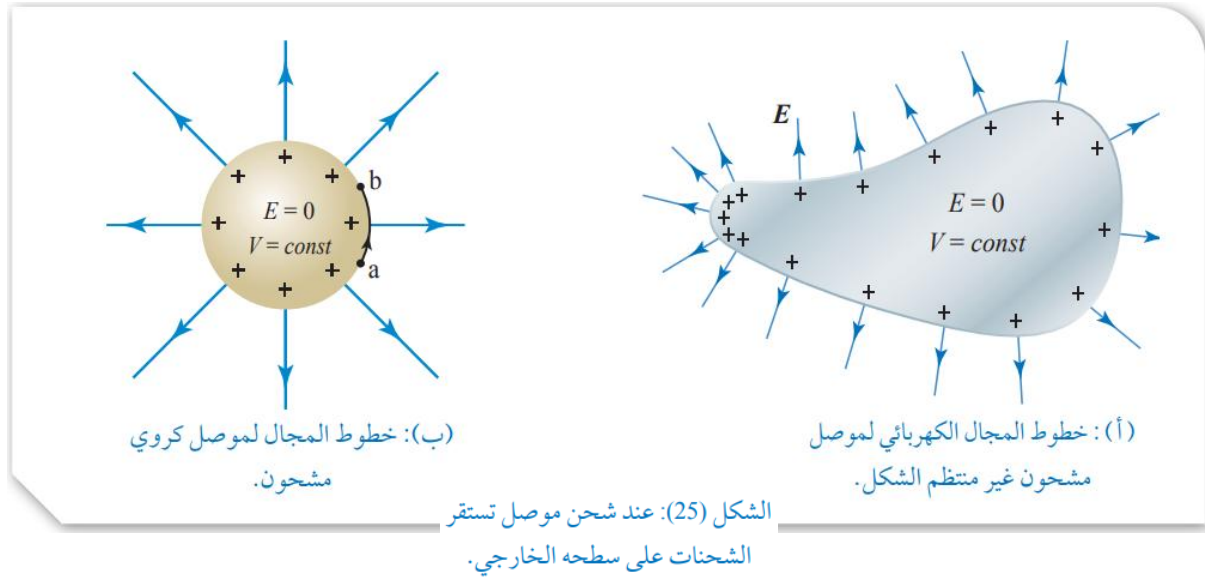
النقطة  $d$  إلى النقطة  $c$  بسرعة ثابتة، علما بأن شحنة

البروتون  $(1.6 \times 10^{-19} \text{ C})$ .

## ✿ الجهد الكهربائي الموصل مشحون

### Electric Potential Due to a Charged Conductor

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 المدببة، وإذا كان الموصل منتظم الشكل مثل الموصل الكروي المبين في الشكل (ب)؛ فإن الشحنة تتوزع على سطحه بانتظام.



إن استقرار الشحنات على سطح الموصل يجعل المجال الكهربائي داخله يساوي صفراً، وهذا يعني أن الشغل الذي يبذله المجال لنقل شحنة بين أي نقطتين داخل الموصل، أو من نقطة داخل الموصل إلى نقطة على سطحه يساوي صفراً. وبما أن الشغل يعطى بالعلاقة  $(W = -q\Delta V)$ ؛ فإن فرق الجهد بين النقطتين يساوي صفراً، مما يعني أن الجهد عند النقاط جميعها داخل الموصل متساوٍ، 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.

كذلك، يبين الشكل (25)، أن خطوط المجال الكهربائي تكون دائماً عمودية على سطح الموصل؛ فيعني ذلك أن المجال الكهربائي لا يبذل شغلاً عند نقل شحنة من نقطة مثل (a) إلى نقطة (b) على سطح الموصل.

سنتعرف في هذا الدرس إلى كيفية حساب الجهد الكهربائي داخل موصل كروي مشحون وخارجه.

✓ **اتحقق:** أقدم دليلاً على أن الجهد الكهربائي يكون متساوياً عند جميع النقاط على سطح الموصل المشحون.

أفكر

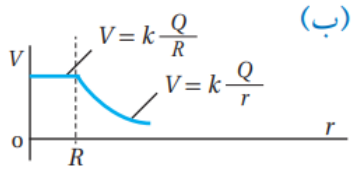
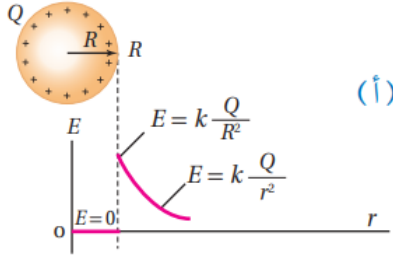
في الشكل (أ/25)، أي المناطق تكون كثافة خطوط المجال عندها أكبر؟ على ماذا يدل ذلك؟

## مهم جداً

- إذا كان شكل الموصل غير منتظم فإن الكثافة السطحية للشحنة ( $\sigma$ ) تكون أكبر عن الرؤوس المدببة.
- وإذا كان شكل الموصل منتظم مثل الموصل الكروي فإن الكثافة السطحية للشحنة ( $\sigma$ ) متساوية.
- فرق الجهد بين أي نقطتين على سطح الموصل يساوي صفراً ( $\Delta V = 0$ ) لأن الجهد متساوي عند جميع النقاط على سطح الموصل.
- ويكون الشغل صفراً عند نقل شحنة بين أي نقطتين على سطح الموصل.
- تكون خطوط المجال الكهربائي دائماً عمودية على سطح الموصل.

## ✻ الجهد الكهربائي لموصل كروي مشحون

### Electric Potential of a Charged Conducting Sphere



الشكل (26): تغيرات المجال الكهربائي،  
والجهد الكهربائي لموصل كروي مشحون  
بشحنة موجبة.

عند حساب الجهد الكهربائي الناشئ عن موصل كروي مشحون؛ فإننا نعد الشحنة وكأنها في مركز الكرة، فيكون الجهد الكهربائي عند أي نقطة خارج الكرة مماثلاً للجهد الناشئ عن شحنة نقطية (تعلمت مسبقاً حساب الجهد الناشئ عن شحنة نقطية).

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

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

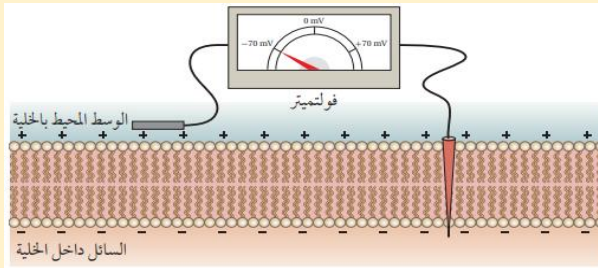
أما الجهد عند أي نقطة على سطح الموصل أو داخله حيث  $(r \leq R)$ ؛ فمقداره ثابت ويُعطى بالعلاقة:

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

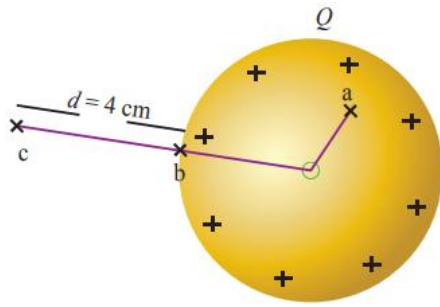
يبين الشكل (26/أ) تمثيلاً بيانياً لتغير المجال الكهربائي بتغير بعد النقطة عن مركز الموصل الكروي المشحون، أما الشكل (26/ب) فيبين تمثيلاً بيانياً لتغير الجهد الكهربائي بتغير بعد النقطة عن مركز الموصل نفسه.

### الربط بالعلوم

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، لكن جزيئات البروتين الأكبر حجماً لا تتمكن من ذلك؛ فينتج عن ذلك أن يصبح داخل الخلية مشحوناً بشحنة سالبة، والسائل خارج الخلية مشحون بشحنة موجبة؛ فينشأ فرق في الجهد الكهربائي - بين داخل الخلية وخارجها - يولد مجالاً كهربائياً.



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



الشكل (27): الجهد الناشئ عن موصل كروي مشحون.

## المثال 7

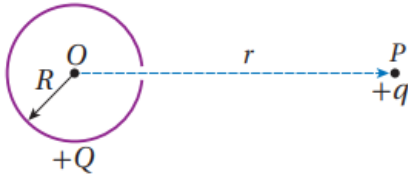
موصل كروي من النحاس نصف قطره  $(4 \text{ cm})$  مشحون ومعزول، موضوع في الهواء كما في الشكل (27)، إذا علمت أن جهد النقطة  $a$  يساوي  $(2000 \text{ V})$ ؛ فأحسب:

- جهد الموصل الكروي.
- شحنة الموصل.
- الشغل الذي تبذله القوة الكهربائية لنقل شحنة  $(-8 \text{ nC})$  من النقطة  $c$  إلى النقطة  $b$ .

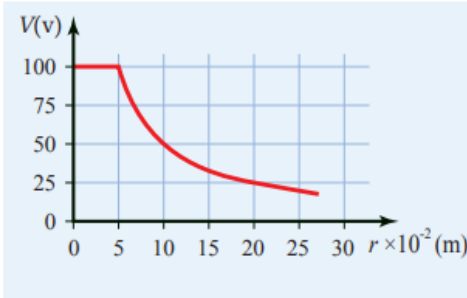
## تمرين

**استنتج:** كرة موصلة ومشحونة نصف قطرها  $R$  وجهدها  $V$ ، أجد بدلالة  $V$  جهد نقطة تبعد مسافة  $4R$  عن مركزها.

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:



$$\begin{aligned} & \text{أ- } \frac{k q Q}{r} \\ & \text{ب- } \frac{k q Q}{R} \\ & \text{ج- } \frac{k (Q-q)}{R} \\ & \text{د- } k q Q \left( \frac{1}{R} - \frac{1}{r} \right) \end{aligned}$$

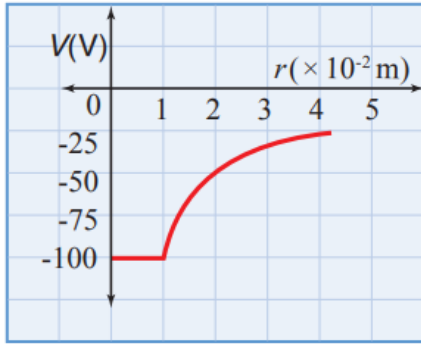


الشكل (28): العلاقة بين جهد موصل كروي مشحون والبعد عن مركزه.

## المثال 8

يمثل الرسم البياني في الشكل (28) العلاقة بين الجهد الكهربائي والبعد عن مركز موصل كروي مشحون. معتمدًا على الشكل أجد:

- نصف قطر الموصل.
- الجهد الكهربائي عند نقطة تبعد (20 cm) عن مركز الموصل.
- شحنة الموصل.



٣ استنتج: يمثل الرسم البياني في الشكل، العلاقة بين

الجهد الكهربائي والبعد عن مركز موصل كروي

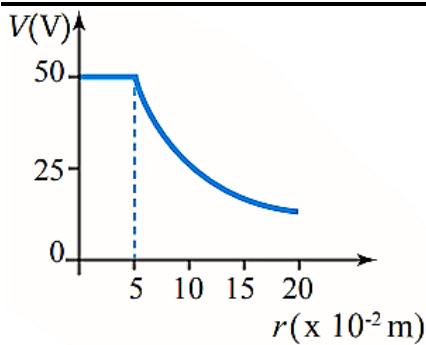
مشحون بشحنة سالبة، مستعينا بالشكل أحسب:

أ- جهد الموصل الكروي.

ب- الشغل المبذول من قبل القوة الكهربائية لنقل شحنة

( $+6.0 \text{ nC}$ ) من نقطة تبعد ( $4 \text{ cm}$ ) إلى نقطة أخرى

تبعد ( $2 \text{ cm}$ ) عن مركز الموصل.



٣ أستخدم الأرقام: كرة من النحاس مشحونة بشحنة

موجبة، مثلت العلاقة بين الجهد الكهربائي والبعد عن

مركز الكرة كما في الشكل، أحسب:

أ- الجهد الكهربائي عند نقطة تبعد ( $4 \text{ cm}$ ) عن مركز

الكرة.

ب- شحنة الكرة.

ج- الشغل الذي تبذله القوة الكهربائية لنقل شحنة

( $6 \mu\text{C}$ ) من مركز الكرة إلى نقطة تبعد ( $8 \text{ cm}$ ) عن مركز الكرة.

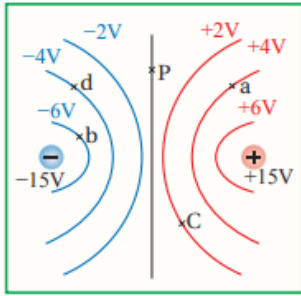
## الربط



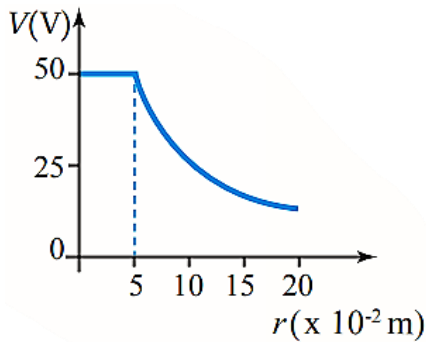
ملف تسلا جهاز اخترعه العالم الكرواتي نيكولا تسلا عام 1891م، يولد الملف جهدًا كهربائيًا عاليًا جدًا يمكن أن يصل إلى مليون فولت، ويُمكن عن طريقه نقل الطاقة الكهربائية لاسلكيًا، حيث يعمل الملف على تخزين طاقة وضع كهربائية، تطلق في صورة شرارة تشبه البرق. يمكن استخدام ملف تسلا بوصفه ملف

اشتعال في آلات الاحتراق الداخلي في السيارات، بالإضافة إلى استخدامه في العروض التعليمية وفي مجال الترفيه لإنشاء البرق الاصطناعي.

1. **الفكرة الرئيسية:** 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.

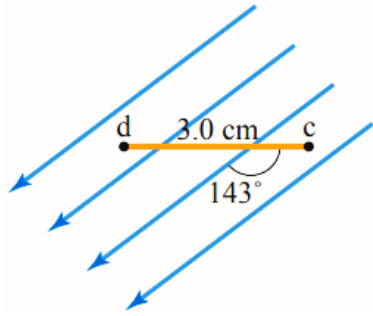


2. **استنتج:** يمثل الشكل سطوح تساوي الجهد لشحنتين متساويتين في المقدار ومختلفتين في النوع، أجب عما يأتي:
  - أ- أي النقاط جهدها يساوي صفراً.
  - ب- ما فرق الجهد  $(V_a - V_c)$  ,  $(V_b - V_d)$  ؟
  - ج- أحسب الشغل الذي تبذله القوة الخارجية لنقل شحنة  $(5 \text{ nC})$  من النقطة d إلى النقطة a.

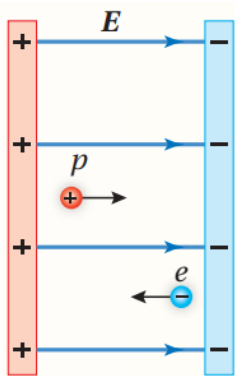


3. **أستخدم الأرقام:** كرة من النحاس مشحونة بشحنة موجبة، مثلت العلاقة بين الجهد الكهربائي والبعد عن مركز الكرة كما في الشكل، أحسب:
  - أ- الجهد الكهربائي عند نقطة تبعد  $(4 \text{ cm})$  عن مركز الكرة.
  - ب- شحنة الكرة.
  - ج- الشغل الذي تبذله القوة الكهربائية لنقل شحنة  $(6 \mu\text{C})$  من مركز الكرة إلى نقطة تبعد  $(8 \text{ cm})$  عن مركز الكرة.

4. **استخدم الأرقام:** جسيم مشحون بشحنة موجبة اكتسب طاقة وضع كهربائية مقدارها  $(1.6 \times 10^{-16} J)$  خلال تحركه مسافة  $(3 cm)$  في مجال كهربائي منتظم مقداره  $(2 \times 10^4 V/m)$ ، أحسب شحنة الجسيم.



5. **استخدم الأرقام:** نقطتان  $c$  و  $d$  في مجال كهربائي منتظم مقداره  $(3.0 \times 10^3 V/m)$  كما في الشكل، أحسب:  
 أ- فرق الجهد الكهربائي  $(V_c - V_d)$   
 ب- الشغل المبذول بواسطة قوة خارجية لنقل بروتون من النقطة  $d$  إلى النقطة  $c$  بسرعة ثابتة، علماً بأن شحنة البروتون  $(1.6 \times 10^{-19} C)$ .



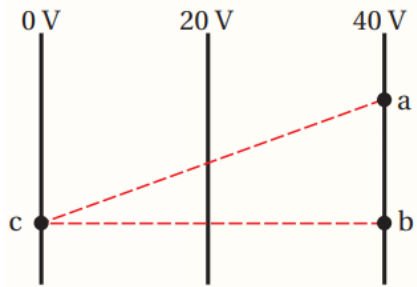
6. **أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة لكل جملة مما يأتي:**  
 ① إلكترون وبروتون بدأ بالحركة من السكون بالقرب من صفيحتين فلزيتين، كما هو مبين في الشكل المجاور، عندما يصل كل منهما إلى الصفيحة المقابلة نجد أن:  
 أ- البروتون والإلكترون متساويان في السرعة.  
 ب- سرعة البروتون أكبر من سرعة الإلكترون.  
 ج- 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  $(\Delta V)$ ؛ 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-  $2\sqrt{2} v$       ج-  $4 v$       د-  $8 v$

③ صفيحتان متوازيتان  $(X, Y)$ ، شحنتا بشحنتين متساويتين مقداراً ومختلفتين في النوع فتولد في الحيز 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  $(4 V)$ .  
 ج- 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 ناتج عن مجال كهربائي منتظم. بالاعتماد على البيانات المثبتة على الشكل، أجب عن الفقرتين الآتيتين:

④ يكون اتجاه المجال الكهربائي باتجاه محور:

- أ-  $+x$       ب-  $-x$   
 ج-  $+y$       د-  $-y$

⑤ تزداد طاقة الوضع الكهربائية لشحنة سالبة عند انتقالها من:

- أ- النقطة  $(a)$  إلى النقطة  $(b)$ .      ب- النقطة  $(b)$  إلى النقطة  $(c)$ .  
 ج- النقطة  $(c)$  إلى النقطة  $(a)$ .      د- النقطة  $(b)$  إلى النقطة  $(a)$ .

## الدرس الثالث: المواسعة الكهربائية Electrical Capacitance

### الفكرة الرئيسية:

تختلف المواسعات الكهربائية في أشكالها ومقادير مواسعاتها وطرائق توصيلها معاً؛ وتكمن أهميتها في قدرتها على تخزين الطاقة الكهربائية، وتُستعمل في الكثير من التطبيقات العملية.

➤ **المواسع الكهربائي (capacitor):** هو جهاز يستعمل لتخزين الطاقة واستعمالها عند الحاجة.



الشكل (26): أنواع مختلفة من المواسعات.

✿ تتكون الاجهزة الكهربائية من دارات كهربائية ودارات إلكترونية متنوعة

✿ ويلزم في كثير من الدارات وجود أداة تستخدم لتخزين الطاقة

✿ البطارية ليست الأداة الوحيدة لتخزين الطاقة، أيضاً المواسع الكهربائي يخزن الطاقة الكهربائية

✿ تختلف المواسعات الكهربائية في أشكالها وأحجامها حسب استخدام كل منها كما يبين الشكل (26).

✿ معظم الأجهزة الإلكترونية تحتوي على مواسعات كما في لوحة الحاسوب المبينة في الشكل (32).



الشكل (32): لوحة حاسوب تحتوي على أنواع مختلفة من المواسعات.

### ➤ أنواع المواسع الكهربائي:

- 1 المواسع ذا الصفيحتين المتوازيين
- 2 المواسع الأسطوانية

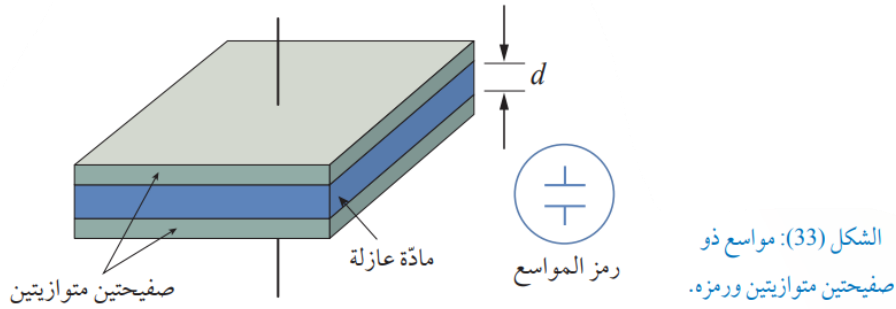
☞ ما الفرق بين المواسع الكهربائي والبطارية؟

ج المواسع الكهربائي يتميز عن البطارية بإمكانية شحنه وتفريغه بشكل أسرع.

☞ ما المقصود بالمواسع ذا الصفيحتين المتوازيين؟

ج هو جهاز يخزن الطاقة ويكون على شكل صفيحتين متوازيتين تفصلهما طبقة من مادة عازلة.

❁ يرمز للمواسع ذا الصفيحتين بخطين متوازيين كما في الشكل



## ملاحظات

- يمكن ان يكون شكل الصفيحتين مربعًا او مستطيلًا او دائريًا حسب الاستعمال
- المادة العازلة تتكون من مادة مناسبة مثل البوليستر أو المايكا أو الهواء.

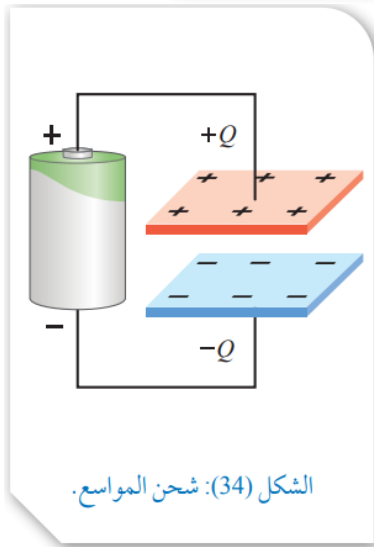
❁ نحن سنتعامل مع مواسع ذا صفيحتين متوازيين والمادة العازلة بينهما هواء

## تذكر

$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2$$

السماحية الكهربائية للهواء

## ❁ شحن المواسع Charging a Capacitor

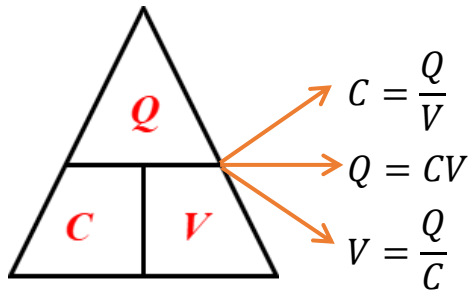


الشكل (34): شحن المواسع.

عند وصل مواسع ذي صفيحتين متوازيين مع بطارية؛ فإن البطارية تنقل الإلكترونات عبر الدارة من إحدى صفيحتي المواسع إلى الصفيحة الأخرى، فتعمل على شحن الصفيحة الموصولة بالقطب السالب بشحنة سالبة، بينما تشحن الصفيحة الموصولة مع القطب الموجب بشحنة موجبة كما في الشكل (34)، وبزيادة تراكم الشحنات على صفيحتي المواسع يزداد فرق الجهد بين الصفيحتين، وتستمر عملية الشحن حتى يصبح فرق الجهد بين صفيحتي المواسع مساويًا لفرق جهد البطارية. والشغل الذي تبذله البطارية لنقل الشحنات يخترن في المواسع على شكل طاقة وضع كهربائية.

✓ **أتتحقق:** إلى متى تستمر عملية شحن المواسع عند وصل صفيحتيه ببطارية؟ ما شكل الطاقة المخزنة فيه؟

## المواسعة الكهربائية (Electrical Capacitance)



لوحة فرق الجهد الكهربائي بين طرفي المواسع (V)

$$C = \frac{Q}{V}$$

حيث:

$Q \rightarrow C$ : الشحنة الكهربائية على احدى الصفيحتين

$V \rightarrow V$ : فرق الجهد بين الصفيحتين

$C \rightarrow F$ : المواسعة الكهربائية

### ملاحظة

المواسعة (C) لا تعتمد على شحنة المواسع (Q) او جهده (V) بل تعتمد على ابعاده الهندسية

ما الوحدة التي تكافئ الفاراد (F)؟

$C/V$  -س

$V/C$  -ح

$s/C$  -ب

$C/s$  -أ

ما المقصود بالفاراد؟

ج هو مواسعة مواسع يخزن شحنة كهربائية (1 C) عند تطبيق فرق جهد (1 V) بين صفيحتيه

ماذا نعني بقولنا ان مواسعة مواسع (15 F)؟

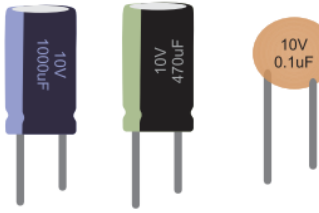
ج هذا يعني ان مواسعة مواسع يخزن شحنة كهربائية (15 C) عند تطبيق فرق جهد (1 V) بين صفيحتيه

ماذا نعني بقولنا ان مواسعة مواسع (35 F)؟

وحدة الفاراد ( $F$ ) كبيرة نسبياً، ومعظم قيم المواسعات في الدارات الإلكترونية صغيرة جداً، لذا تستعمل البادئات ( $\mu, n, p$ )

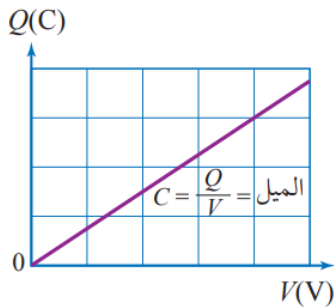
وتذكر:  $\mu = 10^{-6}$  ,  $n = 10^{-9}$  ,  $p = 10^{-12}$

أما المواسعات فائقة التخزين فتصل مواسعاتها إلى مئات الآلاف من الفاراد



الشكل (36): مواسعات مختلفة الجهد والمواسعة.

✿ انظر إلى الشكل (36) الذي يبين مواسعات مختلفة، وعادة يكتب على المواسع رقمين؛ الأول يبين مواسعته، والثاني يبين أكبر فرق جهد آمن يمكن تطبيقه بين صفيحتي المواسع، فإذا تجاوز الجهد القيمة المحددة للمواسع، فإن ذلك يؤدي إلى تلفه.



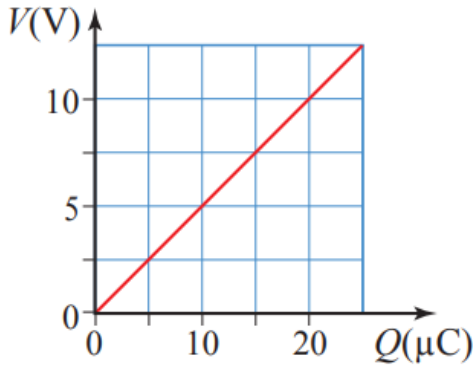
الشكل (35): التمثيل البياني للعلاقة بين شحنة المواسع وجهدده.

✿ في أثناء شحن المواسع يزداد فرق الجهد بين صفيحتي المواسع بزيادة الشحنات الكهربائية على صفيحتيه.  
✿ وعند تمثيل العلاقة بين جهد المواسع ( $V$ ) وشحنته ( $Q$ ) بيانياً نجد أنها علاقة خطية طردية.  
✿ وهنا ميل الخط المستقيم يساوي مقدار ثابتاً ويمثل المواسعة الكهربائية

$$C = \frac{Q}{V} \text{ الميل}$$

هل تعتمد المواسعة الكهربائية على فرق الجهد بين طرفي المواسع وشحنته؟

## عليك ان تميز بين المنحنيين الآتيين:



هنا:

$$\frac{V}{Q} = \text{الميل}$$

أي ان الميل يساوي مقلوب المواسعة

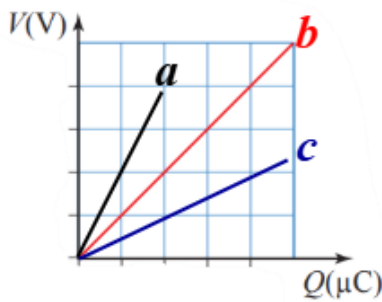
$$\frac{1}{C} = \frac{V}{Q} = \text{الميل}$$

كلما زاد الميل قلت المواسعة

كلما قل الميل زادت المواسعة

اعتماداً على الشكل أجب عن كل مما

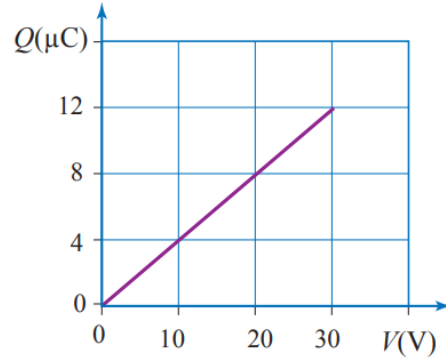
يأتي:



① أيهما اكبر مواسعة

② أيهما أقل مواسعة

③ أيهما أفضل لتخزين الطاقة



هنا:

$$\frac{Q}{V} = \text{الميل}$$

أي ان الميل يساوي المواسعة

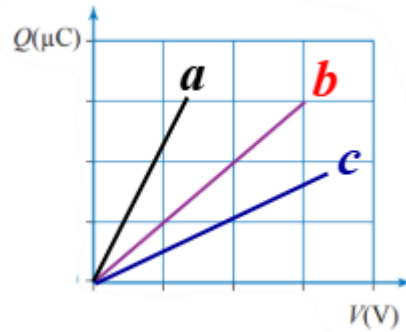
$$C = \frac{Q}{V} = \text{الميل}$$

كلما زاد الميل زادت المواسعة

كلما قل الميل قلت المواسعة

اعتماداً على الشكل أجب عن كل مما

يأتي:



① أيهما اكبر مواسعة

② أيهما أقل مواسعة

③ أيهما أفضل لتخزين الطاقة

مواضع كهربائي يختزن شحنة مقدارها ( $6 \mu C$ ) عندما يطبق عليه جهد مقداره ( $5 V$ ) احسب مواسعة المواسع.

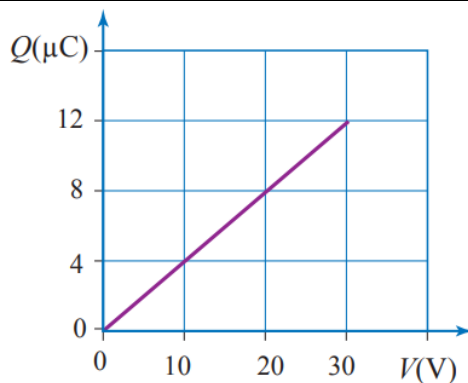


الشكل (37): مواضع كهربائي.

## المثال 1

بناء على البيانات المثبتة على المواسع المبين في الشكل (37)، أجب عما يأتي:  
١- أدد القيمة العظمى للشحنة التي يمكن تخزينها بأمان في المواسع.

٢- هل يمكن تطبيق جهد مقداره ( $600 V$ ) بين طرفي المواسع؟ أوضه إجابتي.



الشكل (39): التمثيل البياني للعلاقة بين شحنة المواسع وجهد.

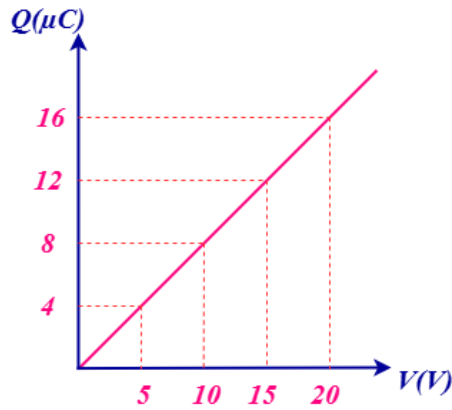
## المثال 2

يمثل الرسم البياني في الشكل (39) العلاقة بين شحنة مواسع ذي صفيحتين متوازيتين وجهد، في أثناء عملية الشحن عند وصله مع بطارية جهدها ( $40 V$ )، مستعينا بالشكل أحسب:  
١- مواسعة المواسع.

٢- شحنة المواسع عندما يكون جهده ( $18 V$ ).

٣- شحنة المواسع بعد اكتمال عملية الشحن.

## H.W



يمثل المنحنى التالي العلاقة بين الشحنة الكهربائية والجهد لمواسع كهربائي متصل مع بطارية فرق جهدها (50 V) في أثناء عملية شحنه بالاعتماد على المنحنى أجب عن كل مما يأتي:  
[1] ماذا يمثل الميل.

[2] احسب مواسعة المواسع.

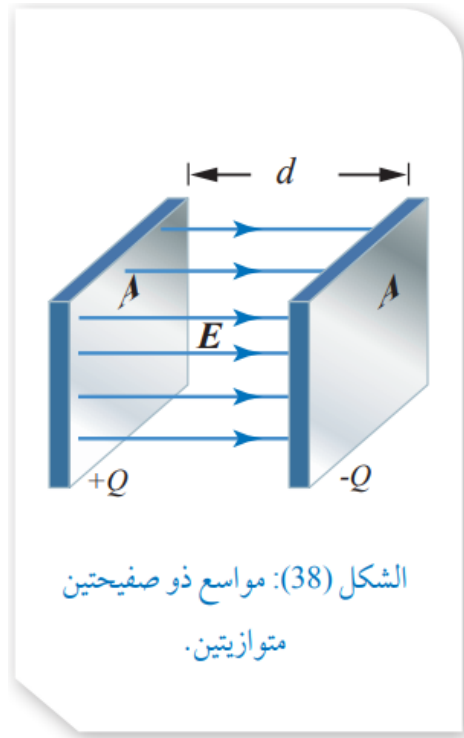
[3] احسب شحنة المواسع عندما يكون فرق الجهد (15 V).

[4] احسب شحنة المواسع عندما يكون فرق الجهد (13 V).

[5] احسب شحنة المواسع عند اكتمال عملية الشحن.

## ❖ مواسعة مواسع ذي صفيحتين متوازيتين

### Capacitance of Parallel-Plate Capacitor



❖ تعلمنا ان مواسعة المواسع ( $C$ ) لا تعتمد على

شحنته ( $Q$ ) و فرق جهده ( $V$ ) لان العلاقة بين

$Q$  و  $V$  خطية طردية

❖ لكن على ماذا تعتمد مواسعة المواسع ( $C$ )

لمعرفة العوامل التي تعتمد عليها مواسعة

المواسع انظر إلى الشكل (38) الذي يبين مواسعاً ذا

صفيحتين متوازيتين، مساحة كل منهما ( $A$ )

وتفصلهما مسافة ( $d$ ) والوسط الفاصل بينهما

فراغ (أو هواء)

❖ عند شحن المواسع ينشأ بين صفيحتيه مجال

كهربائي منتظم مقداره

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

❖ ولكن الكثافة السطحية للشحنة ( $\sigma$ ) تعطى بالعلاقة:  $\sigma = \frac{Q}{A}$ ، ومن ثم؛ فإن:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{Q}{\epsilon_0 A}$$

❖ وبما ان جهد المواسع ( $V$ ) يعطى بالعلاقة:  $V = Ed$  فإنه يمكن التعبير عن مواسعة

المواسع على النحو الآتي:

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{Q}{Ed} = \frac{Q}{\frac{Q}{\epsilon_0 A} d}$$

$$\boxed{C = \frac{A \epsilon_0}{d}}$$

❖ اذكر العوامل التي تعتمد عليها مواسعة المواسع ( $C$ )؟

$$C = \frac{A \epsilon_0}{d}$$

1] مساحة كل من الصفيحتين ( $A$ ) (طردية)

2] المسافة الفاصلة بين الصفيحتين ( $d$ ) (طردية)

3] السماحية الكهربائية للوسط الفاصل بين الصفيحتين ( $\epsilon$ ) (طردية)

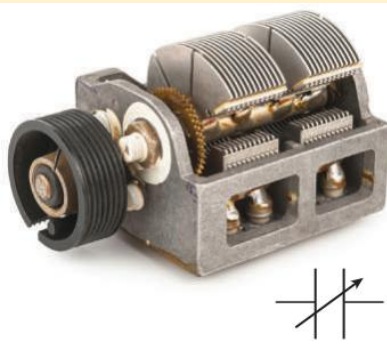
ستقتصر دراستنا على أن يكون الوسط الفاصل بين الصفيحتين هواء أو فراغ

أفكر

هل تؤدي زيادة جهد المواسع أو شحنته الكهربائية إلى زيادة مواسعته؟

✓ **أتحقق:** ما الطرائق التي يمكن بواسطتها زيادة مواسعة المواسع ذي الصفيحتين المتوازيين؟

## الربط



توجد مواسعات متغيرة المواسعة تحتوي على عدة صفائح فلزية قابلة للدوران حول محور. ومن ثم، يمكن التحكم بمواسعة المواسع عن طريق تغيير عدد الصفائح أو مساحتها أو المسافة بينها، ويرمز له في الدارات الكهربائية بخطين متوازيين عليهما سهم، أنظر إلى الشكل.

## الربط



**استعمال المواسعات في لوحة مفاتيح الحاسوب**  
يوضع مواسع ذو صفيحتين متوازيين أسفل كل حرف في لوحة مفاتيح الحاسوب؛ بحيث تثبت إحدى صفيحتي كل مواسع بمفتاح والصفيحة الأخرى تكون ثابتة، وعند الضغط على المفتاح يقل البعد بين الصفيحتين فتزداد مواسعة المواسع؛ وهذا يجعل الدارات الإلكترونية الأخرى في الحاسوب تتعرف إلى المفتاح الذي جرى الضغط عليه.

## المثال 3

- مواسع ذو صفيحتين متوازيتين، البعد بينهما  $(2 \text{ mm})$  ومساحة كل من صفيحتيه  $(8 \times 10^{-4} \text{ m}^2)$ ، يتصل ببطارية جهدها  $(50 \text{ V})$  .  
 احسب كلا مما يأتي علما ان  $(\epsilon_o = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2)$   
 أ- مواسعة المواسع.  
 ب- جهد المواسع  $(V)$  عندما يخترن شحنة  $(Q')$  مقدارها  $(100 \text{ pC})$ .  
 ج- إذا تضاعفت المسافة بين الصفيحتين مع بقاء البطارية موصولة بالمواسع، فأحسب كل من شحنة المواسع  $(Q'')$  ومواسعته  $(C')$ .

## تمرين

- أستخدم الأرقام:** مواسع ذو صفيحتين متوازيتين مواسعته  $(0.04 \text{ nF})$  والمسافة بين صفيحتيه  $(0.25 \text{ cm})$ ، شحن حتى أصبح جهده  $(100 \text{ V})$  .  
 احسب كلا مما يأتي علما ان  $(\epsilon_o = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2)$ :  
 أ- مساحة كل من صفيحتي المواسع.  
 ب- شحنة المواسع.

## H.W

موسع ذو صفيحتين متوازيتين ، البعد بينهما  $(5\text{ cm})$  ومساحة كل من الصفيحتين  $(20\text{ cm}^2)$  ، إذا علمت ان السماحية الكهربائية للوسط  $(\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}\text{ C}^2/\text{N.m}^2)$  احسب:

١- مواسعة المواسع	٢- فرق الجهد الكهربائي عندما تكون الشحنة $(1.77\text{ pC})$	٣- إذا تضاعفت المساحة فماذا يحدث لكل من مواسعة المواسع وشحنته وجهده مع بقاءه متصلاً
-------------------	---	---

موسع ذو صفيحتين متوازيتين مواسعته  $(6\text{ }\mu\text{F})$  ، ومساحة كل من صفيحتيه  $(18\text{ cm}^2)$  علماً أنه السماحية الكهربائية للوسط:  $(\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}\text{ C}^2/\text{N.m}^2)$  احسب كل مما يأتي:

١- المسافة بين صفيحتي المواسع	٢- شحنة المواسع إذا شحن المواسع حتى أصبح جهده $(80\text{ V})$
-------------------------------	---

## أسئلة النسبة والرموز

مواسع ذو صفحتين متوازيتين موسعته ( $C$ )، ومساحة كل من صفحتيه ( $A$ ) والمسافة بين صفحتيه ( $d$ ) متصل مع بطارية وضح ماذا يحدث لموسعته في كل من الحالات التالية:

- |  |   |
|--|---|
| <p>1 عند مضاعفة مساحة كل من صفحتيه إلى ثلاث أمثال ما كانت عليه</p> | <p>2 عند مضاعفة المسافة بين صفحتيه أربع مرات ما كانت عليه</p> |
|--|---|

- |  |   |
|--|---|
| <p>3 عند مضاعفة كل من مساحة الصفحتين والمسافة بينهما إلى مثلي ما كانت عليه</p> | <p>4 عند نقصان المسافة بين صفحتيه إلى النصف وزيادة مساحة كل من صفحتيه إلى مثلي ما كانت عليه</p> |
|--|---|

مواسع ذو صفحتين متوازيتين، متصل ببطارية. عندما تزداد مساحة كل من صفحتيه إلى مثلي ما كانت عليه ويقل البعد بينهما إلى النصف مع بقاءه متصلاً بالبطارية، فإن الطاقة المخزنة فيه:

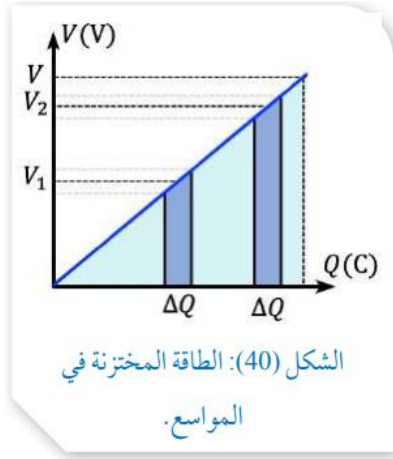
- أ- تقل إلى النصف. ب- تقل إلى الربع. ج- تزداد إلى المثلين. د- تزداد أربعة أمثال.

مواسع ذو صفحتين متوازيين موسعته  $C$ ، إذا ازدادت مساحة كل من صفحتيه إلى مثلي ما كانت عليه، وقلت المسافة بينهما إلى النصف؛ فإن موسعته تصبح:

- أ-  $\frac{C}{2}$  ب-  $\frac{C}{4}$  ج-  $4C$  د-  $C$

## ✳ الطاقة المخزنة في المواسع Energy Stored in a Capacitor

يعد المواسع المشحون مخزنًا لطاقة الوضع الكهربائية، فعند وصل طرفي بطارية مع صفيحتي مواسع؛ فإن البطارية تبذل شغلا لنقل الشحنات إلى صفيحتيه، وهذا الشغل يساوي طاقة الوضع الكهربائية المخزنة فيه.



ذكرنا سابقا أنه في أثناء شحن المواسع يزداد جهده بزيادة الشحنات عليه، والشكل (40) يوضح العلاقة بينهما. ألاحظ أنه عند زيادة شحنة المواسع بمقدار  $\Delta Q$  عند متوسط جهد مقداره  $V_1$  فإن ذلك يتطلب شغلا يساوي مساحة المستطيل:  $V_1 \Delta Q$ ، وكلما ازدادت شحنة المواسع تزداد مساحة المستطيل  $V_2 \Delta Q$  نتيجة لزيادة الجهد، وهذا يتطلب بذل شغل أكبر. والمساحة الكلية تحت المنحنى (المساحة المغلقة بين الخط المستقيم والمحور الأفقي) التي تمثل مساحة المثلث

تساوي الشغل الكلي  $W$  المبذول في شحن المواسع إلى شحنة  $Q$  وجهد  $V$ ؛ أي إذ:

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

هذا الشغل المبذول في شحن المواسع يساوي طاقة الوضع الكهربائية المخزنة في المواسع:

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

وبما أن  $Q = CV$  فإن:

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

وإذا فصلت البطارية عن المواسع - بعد شحنه - ووصل طرفا المواسع بجهاز كهربائي ضمن دائرة كهربائية؛ فإن الطاقة الكهربائية المخزنة في المواسع تتحول إلى شكل آخر من الطاقة، إذ تنتقل الإلكترونات من صفيحة المواسع السالبة إلى الصفيحة الموجبة على شكل تيار كهربائي في الدارة؛ يتلاشى بالتدريج خلال مدة زمنية قصيرة لتصبح شحنة المواسع النهائية صفراً، وتسمى هذه العملية تفريغ المواسع Discharging a Capacitor.

✓ **أتحقق:** ماذا تمثل المساحة الكلية تحت منحنى  $(Q - V)$ ؟

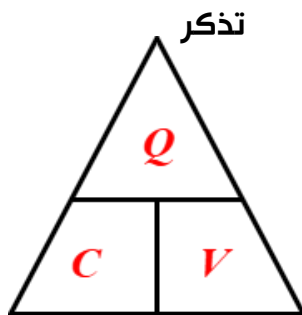
عند وصل طرفي مواسع مشحون ومعزول بمصباح، ماذا يحدث لكل من الكميات الآتية للمواسع: مواسعته، جهده، شحنته، الطاقة الكهربائية المخزنة فيه؟

## الخلاصة

المساحة المحصورة

تحت منحنى  $PE = (V - Q)$

والمحور الأفقي



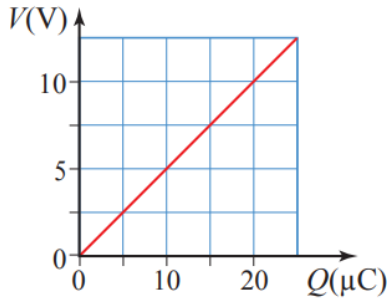
$$\begin{aligned}
 P.E & \rightarrow P.E = \frac{1}{2} QV && \text{بوجه عام} \\
 P.E & \rightarrow P.E = \frac{1}{2} CV^2 && \text{للتوازي} \\
 P.E & \rightarrow P.E = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} && \text{للتوالي}
 \end{aligned}$$

ما العوامل التي تعتمد عليها الطاقة الكهربائية المخزنة في المواسع؟

مواسع ذو صفيحتين متوازيتين مواسعته  $(10 \mu F)$  وصل مع بطارية جهدها  $(2 V)$  احسب:

ب- شحنة المواسع

ا- الطاقة الكهربائية المخزنة في المواسع



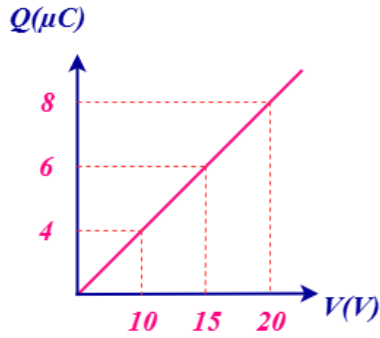
الشكل (36): العلاقة بين جهد المواسع وشحنه.

## المثال 4

- يمثل الرسم البياني في الشكل (36) العلاقة بين جهد المواسع والشحنة الكهربائية المخزنة فيه، بناءً عليه أحسب:
- مواصلة المواسع.
  - الطاقة الكهربائية المخزنة في المواسع عندما يصبح جهده  $(10\text{ V})$ .



- ٣- استخدم الأرقام: يُستعمل مواسع مواسعته  $(180\text{ }\mu\text{F})$  في وحدة إضاءة (فلاش) الكاميرا كما في الشكل لتخزين الطاقة الكهربائية؛ لتفرغ من المواسع خلال جزء من الثانية على شكل طاقة ضوئية في أثناء التقاط الصورة. إذا شحن المواسع حتى أصبح جهده  $(200\text{ V})$  بوساطة بطارية؛ فأحسب:
- شحنة المواسع الكلية.
  - الطاقة الكهربائية المخزنة في المواسع.



موسع كهربائي ذو صفيحتين متوازيتين وصل مع مصدر فرق جهده (8 V) وشحن تماماً اعتماداً على المنحنى الذي يمثل العلاقة بين شحنته وجهده احسب:

أ- مواسعة المواسع  
ب- الطاقة المخزنة في المواسع عندما يصبح جهده 6 V

ما التغير الذي يحدث للطاقة المخزنة في مواسع عند زيادة فرق الجهد بين صفيحتيه إلى المثلين مع بقاء مواسعته ثابتة؟

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

## الربط



جهاز الصدمة الكهربائية للقلب (AED).

جهاز الصدمة الكهربائية للقلب (AED) جهاز يستعمل لمساعدة الأشخاص الذين يعانون من توقف القلب المفاجئ، أنظر إلى الشكل. وهو جهاز طبي متطور خفيف الوزن ومحمول وسهل الاستعمال، يمكنه تحليل نبضات القلب، وإذا اكتشف نبضاً غير طبيعي للقلب؛ فإنه يعمل على مساعدة القلب وإعادة تنظيم ضرباته الطبيعية عن طريق صدمة كهربائية غير الصدر إلى القلب؛ إذ يطلب برنامج الجهاز من المستعمل الضغط على زر لإصدار صدمة كهربائية. وفي بعض الأجهزة المتطورة يجري ذلك تلقائياً من دون تدخل المستعمل.

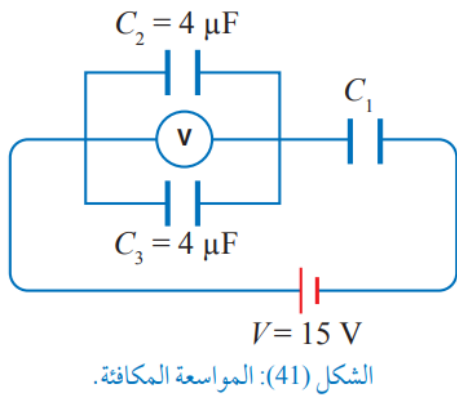
ويجري توفير هذه الأجهزة في الأماكن العامة مثل القاعات الرياضية. يتركب الجهاز من عدة أجزاء رئيسية منها مواسع كهربائي، وهو الجزء المسؤول عن تأمين الشحنات الكهربائية اللازمة لحدوث الصدمة؛ عن طريق تفريغ الشحنات بشكل لحظي، ويجري شحنه باستعمال بطارية مشحونة وجاهزة للاستعمال.

## توصيل المواسعات Combining Capacitors

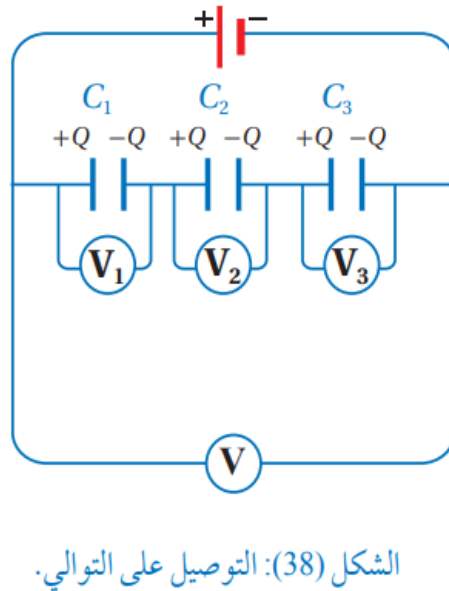
تصنع المواسعات بحيث تكون لها مواسعة محددة، وتعمل على فرق جهد محدد، وقد يلزم أحياناً في دائرة إلكترونية قيمة لمواسعة غير متوافرة، عندئذ يمكن الحصول عليها بوصل مجموعة من المواسعات معاً. توصل المواسعات معاً بعدة طرائق منها طريقتان بسيطتان وشائعتان، هما التوصيل على التوالي والتوصيل على التوازي أو الجمع بينهما، ويُطلق على المواسعة الكلية لمجموعة مواسعات تتصل معاً في دائرة كهربائية **المواسعة المكافئة** Equivalent Capacitance

### توصيل المواسعات

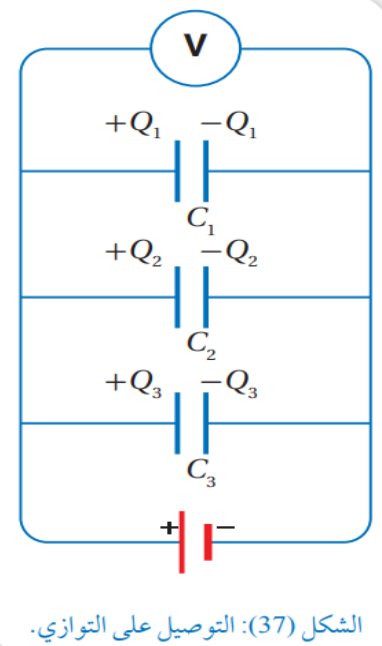
#### توازي وتوالي مع بعض



#### بالتوالي



#### بالتوازي



### عليك ان تعلم

رمز البطارية

رمز المواسع

الفولتميتر

الأميتر

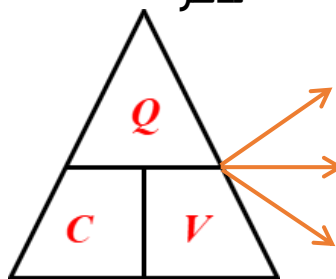
تذكر

بوجه عام

توازي

توالي

تذكر



$$P.E \rightarrow \begin{aligned} P.E &= \frac{1}{2} QV \\ P.E &= \frac{1}{2} CV^2 \\ P.E &= \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} \end{aligned}$$

## ملاحظة

هذه ليست عقدة  
إنما طعجة

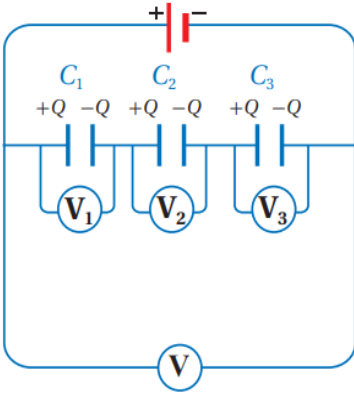


## ملاحظة

العقد T Z Y X

## خصائص طرق توصيل المواسعات

### التوصيل بالتوالي



نلاحظ من الشكل ان

المواسعات لا تفصل

بينها نقاط تفرع

وتكون على نفس

السلك وتتصل

المواسعات التي على

الأطراف مع أقطاب

البطارية إحداهما

تتصل صفيحته اليمنى مع القطب السالب والآخر تتصل

صفيحته اليسرى مع القطب الموجب وباقي الصفائح

للمواسعات تشحن بالحث.

يكون فرق الجهد المكافئ ( $V_{eq}$ ) مساوياً للمجموع

الجبري لفرق جهد كل مواسع (فرق الجهد يتجزأ)

$$V_{eq} = V_1 + V_2 + V_3 + \dots$$

تكون الشحنة الكلية ( $Q_{eq}$ ) المختزنة في

المواسعات مساوية لشحنة كل مواسع.

$$Q_{eq} = Q_1 = Q_2 = Q_3 = \dots$$

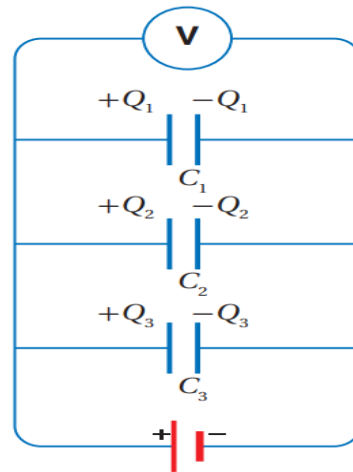
تكون المواسعة المكافئة ( $C_{eq}$ ) أقل من اقل

مواسعة في المجموعة

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

تستخدم هذه الطريقة للحصول على مواسعة صغيرة

### التوصيل بالتوازي



نلاحظ من الشكل ان

المواسعات تفصل

بينها نقاط تفرع

(عقد) وليسوا على

نفس السلك وتتصل

صفيحتا كل مواسع.

مع قطبي البطارية

نفسها. بواسطة

سلك مباشرة أي أن

الصفائح المتصلة مع القطب الموجب للبطارية تشحن

بشحنة موجبة والصفائح المتصلة مع القطب السالب

تشحن بشحنة سالبة.

يكون فرق الجهد بين صفيحتي كل مواسع متساوياً

ويساوي جهد البطارية ( $V_{eq}$ )

$$V_{eq} = V_1 = V_2 = V_3 = \dots$$

تكون الشحنة الكلية ( $Q_{eq}$ ) المختزنة في المواسعات

تساوي المجموع الجبري للشحنات في كل مواسع (أي

ان الشحنة تتوزع ولا تتساوى)

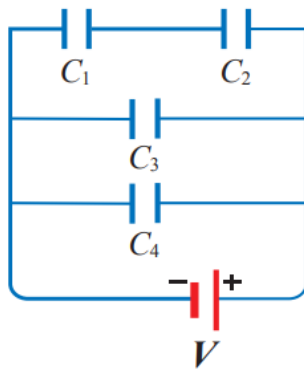
$$Q_{eq} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots$$

تكون المواسعة المكافئة ( $C_{eq}$ ) أكبر من أكبر

مواسعة في المجموعة

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$

تستخدم هذه الطريقة للحصول على مواسعة كبيرة



✓ **أتحقق:** تتصل مجموعة مواسعات مع بطارية كما في الشكل،

بناءً عليه أحدد:

أ- مواسعاً جهده يساوي جهد البطارية.

ب- مواسعين شحنتيهما متساويتين.

## المثال 5

مواسعان، مواسعة الأول ( $5 \mu F$ ) والثاني ( $10 \mu F$ ) وصلا على التوازي مع بطارية جهدها ( $30 V$ )، أحسب:

أ- المواسعة المكافئة.

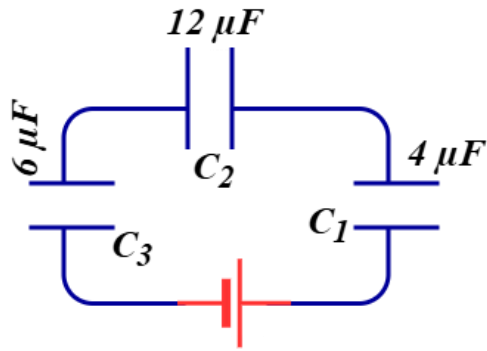
ب- شحنة كل من المواسعين الأول والثاني.

☞ مواسعان، مواسعة الأول ( $2 nF$ ) ومواسعة الثاني ( $8 nF$ ) وصلا على التوالي مع بطارية،

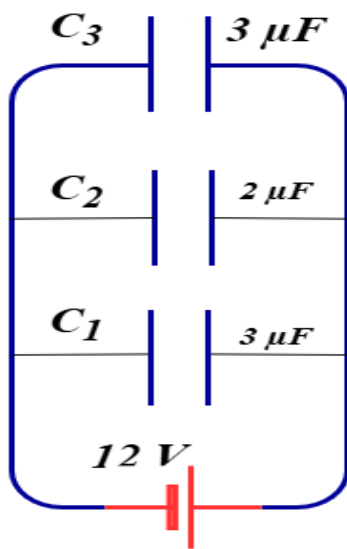
إذا علمت أن الشحنة المكافئة للمواسعين ( $160 nC$ )، أحسب:

أ- المواسعة المكافئة

ب- جهد كل من المواسعين الأول والثاني



يمثل الشكل التالي دائرة كهربائية معتمداً على البيانات المثبتة عليه احسب المواسعة المكافئة

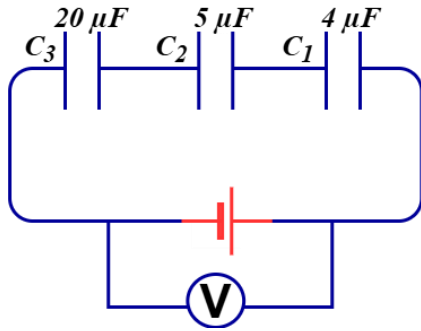


تتصل ثلاث مواسعات مع بطارية جهد (12 V) كما في الشكل معتمداً على البيانات المثبتة احسب:  
١- المواسعة المكافئة

٢- الشحنة الكلية المخزنة في المواسعات.

٣- شحنة المواسع الثالث ( $Q_3$ )

٤- الطاقة الكهربائية المخزنة في المواسع الثاني



تتصل ثلاث مواسعات مع بطارية كما في الشكل، إذا علمت ان الشحنة الكلية المخزنة في المواسعات ( $18 \mu c$ ) ومعتمدًا على البيانات المثبتة على الشكل، احسب:

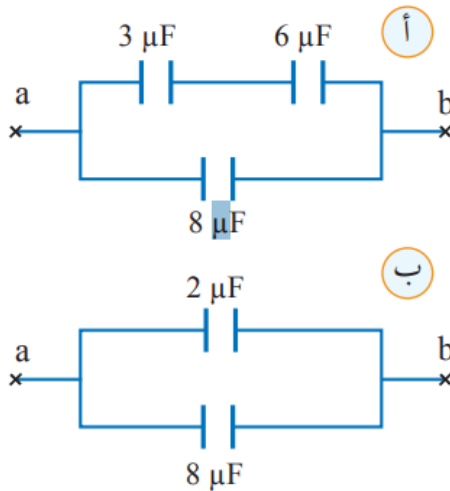
ب- قراءة الفولتميتر

أ- المواسعة المكافئة

د- الطاقة المخزنة في المواسع الأول

ج- شحنة المواسع الأول

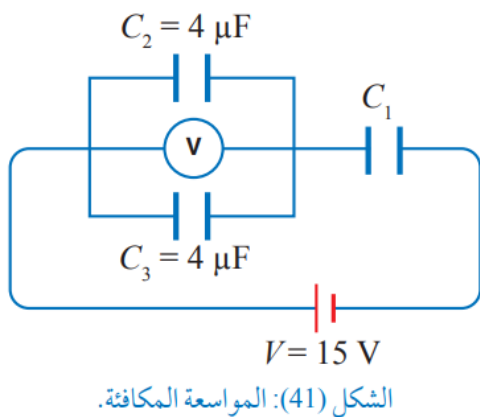
## المثال 6



يمثل الشكل (أ/40) جزءا من دائرة كهربائية يحتوي على (3) مواسعات، أحسب المواسعة المكافئة للمواسعات الثلاثة.

الشكل (40): المواسعة المكافئة.

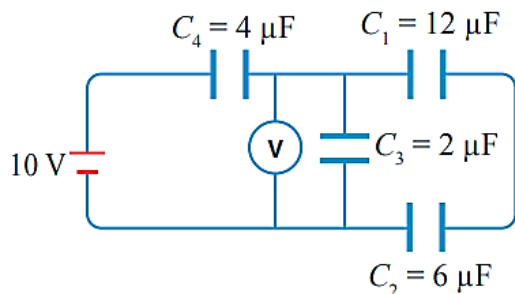
## المثال 7



يبين الشكل (41) ثلاث مواسعات تتصل مع بطارية جهدها (15 V)، إذا كانت قراءة الفولتميتر (10 V)؛ فأحسب:

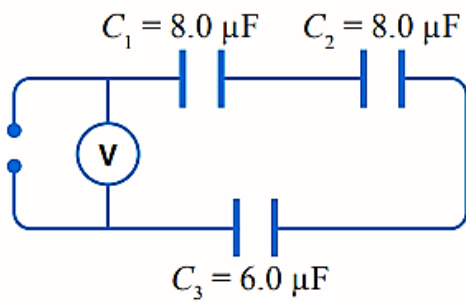
- جهد المواسع  $C_1$ .
- الطاقة الكهربائية المخزنة في المواسع  $C_2$ .
- مواصلة المواسع  $C_1$ .

## تمرين



أستخدم الأرقام: تتصل (4) مواسعات مع بطارية جهدها (10 V) كما في الشكل، أحسب:

- المواصلة المكافئة.
- شحنة المواسع الرابع.
- قراءة الفولتميتر.
- الطاقة الكهربائية المخزنة في المواسع الثالث.



١- استخدم الأرقام: تتصل ثلاثة مواسعات مع مصدر

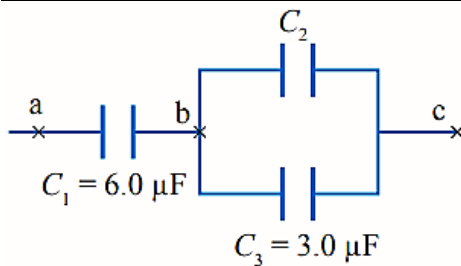
طاقة كما في الشكل المجاور. إذا علمت أن

شحنة المواسع  $C_3$  تساوي  $3.0 \times 10^{-5} C$

فأحسب:

أ- المواسعة المكافئة.

ب- قراءة الفولتميتر.



٢- التفكير الناقد: يُمثل الشكل المجاور جزءاً من دائرة

كهربائية تحتوي على ثلاثة مواسعات. إذا علمت أن

فرق الجهد بين النقطتين  $a$  و  $c$  يساوي  $(20 V)$ ،

وبين النقطتين  $b$  و  $c$  يساوي  $(12 V)$ ، فأحسب:

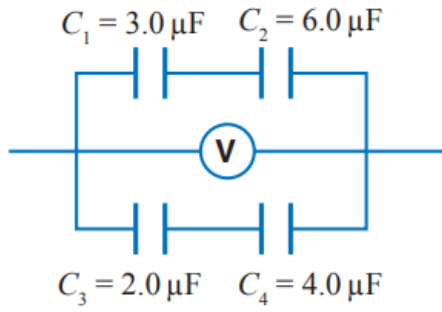
أ- شحنة المواسع  $C_1$ .

ب- مواسعة المواسع  $C_2$ .

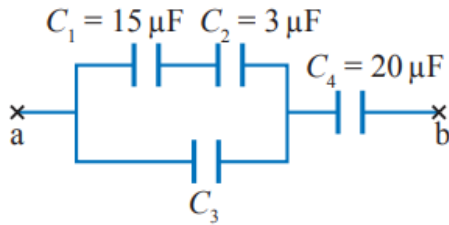
ج- الطاقة الكلية المخزنة في المواسعات الثلاثة.

٣- استخدم الأرقام: أحسب الطاقة الكلية المخزنة في ثلاثة مواسعات مواسعة كل منها

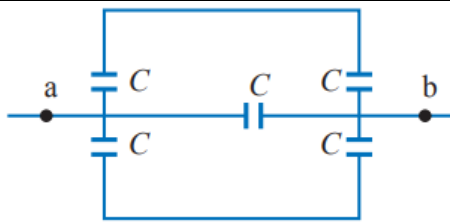
$(30 \mu F)$  تتصل على التوازي مع بطارية جهدها  $(12 V)$ .



- ١- استخدم الأرقام: يُمثل الشكل جزءاً من دائرة كهربائية، إذا علمت أن قراءة الفولتميتر ( $12\text{ V}$ )؛ فأحسب:
- ٢- المواسعة المكافئة.
- ٣- الطاقة الكلية المخزنة في المواسعات.

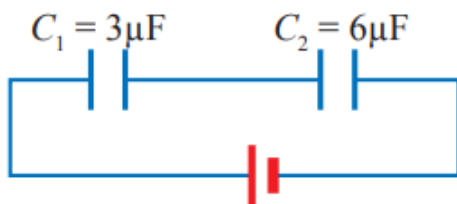


- ١- استخدم الأرقام: تتصل أربع مواسعات معا في جزء من دائرة كهربائية كما في الشكل. إذا علمت أن شحنة المواسع  $C_4$  تساوي ( $30\text{ μC}$ )؛ وفرق الجهد بين النقطتين  $a$  و  $b$  يساوي  $4.5\text{ V}$ ، أحسب المواسعة ( $C_3$ ).



- ١- مقدار المواسعة المكافئة لمجموعة المواسعات بين النقطتين ( $a, b$ ) في الشكل يساوي:

- ٢-  $\frac{C}{2}$
- ٣-  $C$
- ٤-  $5C$
- ٥-  $2C$



- ١- مواسعان يتصلان مع بطارية كما في الشكل، عند المقارنة بين المواسعين؛ أي العبارات الآتية صحيحة؟

- ٢-  $V_2 = 2V_1$
- ٣-  $Q_2 = 2Q_1$
- ٤-  $V_2 = V_1$
- ٥-  $Q_2 = Q_1$

1. **الفكرة الرئيسية:** أوضح المقصود بكل من المفاهيم والمصطلحات الآتية: المواسع الكهربائي، المواسعة الكهربائية، المواسعة المكافئة.

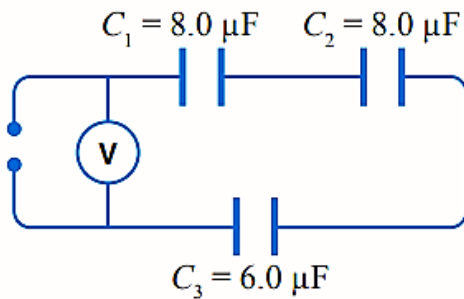
2. **أستنتج:** مواسع ذو صفيحتين متوازيتين، كيف يمكن زيادة مواسعته إلى (4) أضعاف؟

3. **أستنتج:** ماذا نعني بقولنا مواسعة مواسع ( $5 \mu F$ )؟

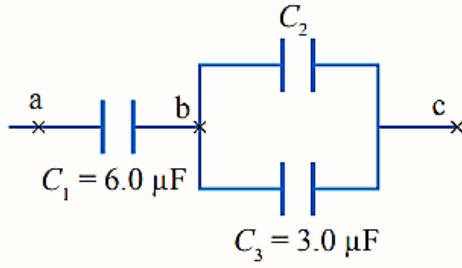
4. **أستخدم الأرقام:** أحسب الطاقة الكلية المخزنة في ثلاثة مواسعات مواسعة كل منها ( $30 \mu F$ ) تتصل على التوازي مع بطارية جهدها ( $12 V$ ).

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؟ أوضح إجابتي.

6. **أستخدم الأرقام:** مواسع ذو صفيحتين متوازيتين مساحة كل من صفيحتيه  $(2.0 \times 10^{-3} \text{ m}^2)$  والبعد بينهما  $(0.10 \text{ cm})$ ، مشحون بشحنة مقدارها  $(6.0 \text{ nC})$  ومفصول عن مصدر الطاقة (البطارية)، أحسب:
- مواسعة المواسع.
  - جهد المواسع.
  - إذا أصبحت المسافة بين صفيحتيه نصف قيمتها الابتدائية، ماذا يحدث لكل من: مواسعة المواسع وجهده، والطاقة الكهربائية المخزنة فيه.



7. **أستخدم الأرقام:** تتصل ثلاثة مواسعات مع مصدر طاقة كما في الشكل المجاور. إذا علمت أن شحنة المواسع  $C_3$  تساوي  $3.0 \times 10^{-5} \text{ C}$  فأحسب:
- المواسعة المكافئة.
  - قراءة الفولتميتر.



8. **التفكير الناقد:** يُمثل الشكل المجاور جزءاً من دائرة كهربائية تحتوي على ثلاثة مواسعات. إذا علمت أن فرق الجهد بين النقطتين  $a$  و  $c$  يساوي  $(20\text{ V})$ ، وبين النقطتين  $b$  و  $c$  يساوي  $(12\text{ V})$ ، فأحسب:
- شحنة المواسع  $C_1$ .
  - مواسعة المواسع  $C_2$ .
  - الطاقة الكلية المخزنة في المواسعات الثلاثة.

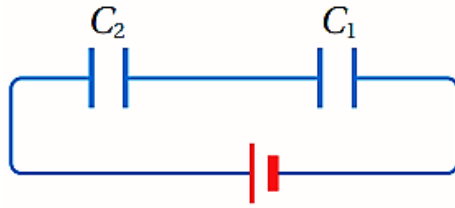
9. **أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة لكل جملة مما يأتي:**

- ① مواسع ذوو صفيحتين متوازيتين، متصل ببطارية. عندما تزداد مساحة كل من صفيحتيه إلى مثلي ما كانت عليه ويقل البعد بينهما إلى النصف مع بقاءه متصلاً بالبطارية، فإن الطاقة المخزنة فيه:
- أ- تقل إلى النصف.    ب- تقل إلى الربع.    ج- تزداد إلى المثلين.    د- تزداد أربعة أمثال.
- ② مواسعان مواسعتيهما  $(C_1 = 6\text{ } \mu\text{F}, C_2 = 4\text{ } \mu\text{F})$  يتصلان على التوازي مع بطارية، إذا كانت الطاقة المخزنة في المواسع الأول  $(3\text{ } \mu\text{J})$  فإن الطاقة المخزنة في المواسع الثاني بوحدة  $\mu\text{J}$ :

أ- 2    ب- 4    ج- 6    د- 3

- ③ مواسع ذوو صفيحتين متوازيين مواسعته  $C$ ، إذا ازدادت مساحة كل من صفيحتيه إلى مثلي ما كانت عليه، وقلت المسافة بينهما إلى النصف؛ فإن مواسعته تصبح:

أ-  $\frac{C}{2}$     ب-  $\frac{C}{4}$     ج-  $4C$     د-  $C$



4 -س

④ في الشكل المجاور إذا كانت مواسعة المواسع

الثاني مثلي مواسعة المواسع الأول فإن نسبة

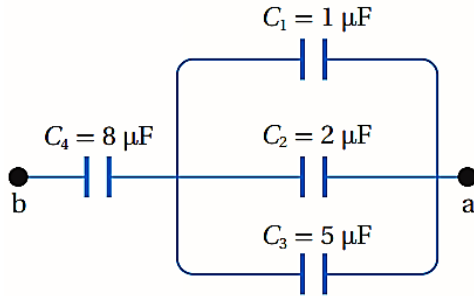
الطاقة المخزنة في المواسع الأول إلى الطاقة

المخزنة في المواسع الثاني  $\frac{PE_1}{PE_2}$  تساوي:

ح-2

ب-  $\frac{1}{2}$

أ-  $\frac{1}{4}$



⑤ أربع مواسعات مشحونة تتصل معاً كما هو مبين

في الشكل. معتمداً 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 ( $b$ ) بوحددة ( $V$ ):

ب-6

أ-4

س-24

ح-12

اسم القانون	القانون	ملاحظات
القوة الكهربائية ( $F_E$ )	$F_E = Eq$	يستخدم لحساب القوة الكهربائية عند أي نقطة
المجال الكهربائي ( $E$ )	$E = \frac{F_E}{q}$	يستخدم بوجه عام لحساب المجال الكهربائي
المجال الكهربائي المنتظم ( $E$ )	$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$	يستخدم لحساب المجال الكهربائي المنتظم بين صفيحتين متوازيتين
المجال الكهربائي لموصل كروي مشحون ( $E$ )	$E = 0$	يكون المجال دائماً داخل الموصل الكروي صفراً
	$E = \frac{kQ}{r^2} = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$	يستخدم عند نقطة قريبة جداً من سطح الموصل الكروي
	$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \times \frac{R^2}{r^2}$	يستخدم عند نقطة تقع خارج الموصل الكروي
التدفق الكهربائي $\Phi_E$	$\Phi_E = EA \cos \theta$	يستخدم عند ما تخترق خطوط المجال الكهربائي المنتظم سطح هندسي ما
	$\Phi_E = 0$	عبر أي سطح مغلق
	$\Phi_E = \frac{q_{in}}{\epsilon_0}$	يستخدم عبر سطح غاوس
القانون الثاني لنيوتن	$\sum F = ma$	
	$Eq = ma$	يستخدم لإيجاد إحدى الكميات ( $E, q, m, a$ ) وذلك في المجال الكهربائي المنتظم
معادلات الحركة	$V_f = V_i + at$ $V_f^2 = V_i^2 + 2a\Delta X$ $\Delta X = V_i t + \frac{1}{2} at^2$	تستخدم عند ما يكون تسارع الجسم ثابت
الجهد الكهربائي ( $V$ )	$V = \frac{W}{q_o} = \frac{P \cdot E}{q_o}$	القانون العام للجهد الكهربائي
	$V = -Ed \cos \theta$	يستخدم لحساب الجهد الكهربائي عند أي نقطة داخل مجال كهربائي منتظم
فرق الجهد الكهربائي ( $\Delta V$ )	$\Delta V = \frac{\Delta P \cdot E}{q_o}$ $\Delta V = V_f - V_i$	

	$\Delta P.E = P.E_f - P.E_i$ $= q(V_f - V_i)$ $= q(\Delta V)$ $\Delta P.E = -\Delta K.E$	التغير في طاقة الوضع الكهربائية ( $\Delta P.E$ )
	$K.E = \frac{1}{2} m V^2$	الطاقة الحركية ( $K.E$ )
	$\Delta K.E = K.E_f - K.E_i$ $= \frac{1}{2} m (V_f^2 - V_i^2)$ $\Delta K.E = -\Delta P.E$	التغير في الطاقة الحركية ( $\Delta K.E$ )
القانون العام للشغل	$W = Fd \cos \theta$	الشغل المبذول
عندما تنقل شحنة كهربائية بعكس اتجاه تأثير القوق الكهربائية (أي ليس لوحدها بل بفعل قوة خارجية)	$W_F = \Delta P.E$ $= +q\Delta V$ $= +q(V_f - V_i)$	الشغل الخارجي لنقل شحنة بين نقطتين في مجال كهربائي
عندما تنتقل شحنة كهربائية بفعل القوة الكهربائية (لوحدها دون تأثير قوة خارجية)	$W_E = -\Delta P.E$ $= -q\Delta V$ $= -q(V_f - V_i)$	الشغل الكهربائي لنقل شحنة بين نقطتين في مجال كهربائي
داخل الموصل الكروي	$V = \text{constant}$	الجهد الكهربائي لموصل كروي مشحون
يستخدم لحساب الجهد الكهربائي عند نقطة على سطح الموصل أو قريبة جداً من السطح ( $r \leq R$ )	$V = \frac{kQ}{R}$	
يستخدم لحساب الجهد الكهربائي عند نقطة تقع خارج الموصل وعلى بعد ( $r > R$ )	$V = \frac{kQ}{r}$	
	$E = \frac{ \Delta V }{d}$	المجال الكهربائي المنتظم
تكون العلاقة بين $Q$ و $V$ خطية طردية	$C = \frac{Q}{V}$	المواسعة الكهربائية ( $C$ )
نستنتج العوامل التي تعتمد عليها موسعة المواسع من القانون	$C = \frac{A \epsilon_0}{d}$	
	$P.E = \frac{1}{2} Q V$ $P.E = \frac{1}{2} C V^2$ $P.E = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$	طاقة الوضع الكهربائية المخزنة في المواسع

## طرق توصيل المقاومات

### بالتوالي

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

$$V_{eq} = V_1 + V_2 + V_3 + \dots$$

$$q_{eq} = q_1 = q_2 = q_3 = \dots$$

### بالتوازي

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$

$$V_{eq} = V_1 = V_2 = V_3 = \dots$$

$$q_{eq} = q_1 + q_2 + q_3 + \dots$$

### ثوابت وزارية

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

$$\epsilon_o = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N.m}^2$$

$$e = -1.6 \times 10^{-19} \text{ C} \text{ شحنة الالكترون}$$

$$q_p = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C} \text{ شحنة البروتون}$$

$$m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

### التحويلات

$$cm = 10^{-2}$$

$$cm^2 = 10^{-4}$$

$$mm = 10^{-3}$$

$$mm^2 = 10^{-6}$$

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

$$n = 10^{-9}$$

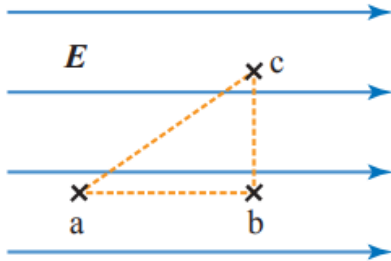
$$P = 10^{-12}$$

$$g \xrightarrow{\times 10^{-3}} kg$$

وحدة القياس	رمز الكمية	الكمية الفيزيائية
(N)	$F_E$	القوة الكهربائية
$N/C$	$E$	المجال الكهربائي
كولوم C	$Q$	الشحنة الكهربائية
C	$q, q_o$	الشحنة الكهربائية الموضوعة
C	$q_{in}$	الشحنة الكهربائية داخل الموصل
$C/m^2$	$\sigma$	الكثافة السطحية للشحنة
m	$r$	بعد النقطة عن مركز الموصل
m	$R$	نصف قطر الموصل
$m^2$	$A$	المساحة
$N \cdot m^2 / C$	$\Phi_E$	التدفق الكهربائي
kg	$m$	الكتلة
$m/s^2$	$a$	التسارع
$m/s$	$V$	السرعة
(S)	$t$ أو $\Delta t$	الزمن
متر m	$\Delta X$	الإزاحة
m	$d$	المسافة بين صفيحتين المواسع
فولت V	$V$	الجهد الكهربائي
V	$\Delta V$	فرق الجهد الكهربائي
J	$P \cdot E$	طاقة الوضع الكهربائية
جول J	$\Delta P \cdot E$	التغير في طاقة الوضع الكهربائية
J	$K \cdot E$	الطاقة الحركية
J	$\Delta K \cdot E$	التغير في الطاقة الحركية
J	$W$	الشغل
J	$W_E$	الشغل الكهربائي
J	$W_F$	الشغل الخارجي
فاراد F	$C$	المواسعة الكهربائية

## مراجعة الوحدة

① أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة لكل جملة مما يأتي:



1. تزداد طاقة الوضع الكهربائية لبروتون في مجال

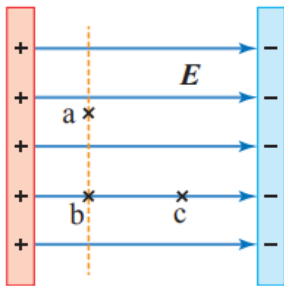
كهربائي منتظم، كما في الشكل، عند انتقاله:

أ- من النقطة  $c$  إلى النقطة  $b$ .

ب- من النقطة  $b$  إلى النقطة  $c$ .

ج- من النقطة  $a$  إلى النقطة  $c$ .

د- من النقطة  $c$  إلى النقطة  $a$ .



2. ثلاث نقاط في مجال كهربائي منتظم كما في الشكل، أي

المقارنات الآتية صحيحة بين جهد تلك النقاط:

أ-  $V_a = V_b = V_c$

ب-  $V_a > V_b = V_c$

ج-  $V_a = V_b > V_c$

د-  $V_a = V_b < V_c$

3. الجهد الكهربائي عند نقطة تقع على سطح موصل كروي مشحون ومعزول نصف قطره  $R$

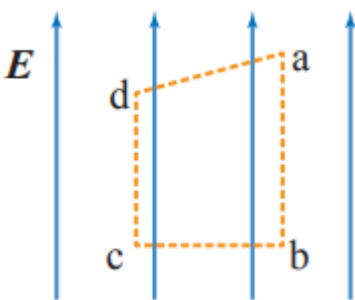
يساوي  $(400\text{ V})$ . ما مقدار الجهد الكهربائي عند نقطة تبعد مسافة  $\frac{R}{2}$  عن مركزه؟

أ-  $200\text{ V}$

ب-  $400\text{ V}$

ج-  $800\text{ V}$

د-  $0\text{ V}$



4. يُبين الشكل (4) نقاط على رؤوس شبه منحرف في مجال

كهربائي منتظم، النقطتان اللتان يكون فرق الجهد بينهما

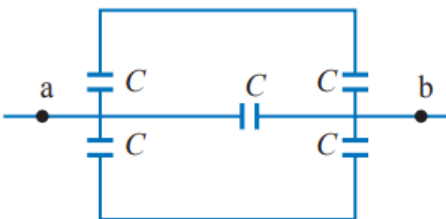
يساوي صفرًا هما:

أ-  $(a, b)$

ب-  $(b, c)$

ج-  $(c, d)$

د-  $(d, a)$



5. مقدار المواسعة المكافئة لمجموعة المواسعات بين

النقطتين  $(a, b)$  في الشكل يساوي:

أ-  $\frac{C}{2}$

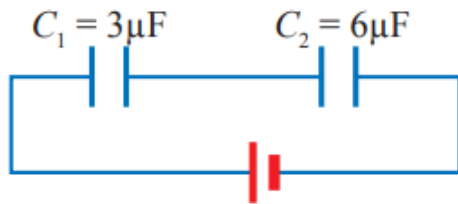
ب-  $C$

ج-  $2C$

د-  $5C$

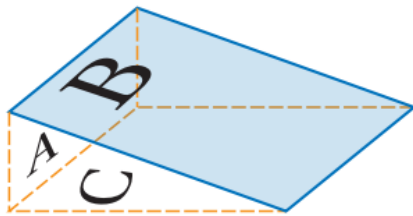
6. ما التغير الذي يحدث للطاقة المخزنة في مواسع عند زيادة فرق الجهد بين صفيحتيه إلى المثلين مع بقاء مواسعته ثابتة؟

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



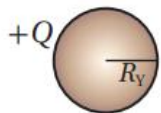
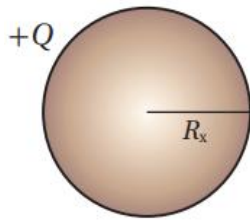
7. مواسعان يتصلان مع بطارية كما في الشكل، عند المقارنة بين المواسعين؛ أي العبارات الآتية صحيحة؟

- أ-  $V_2 = 2V_1$       ب-  $V_2 = V_1$   
ج-  $Q_2 = 2Q_1$       د-  $Q_2 = Q_1$



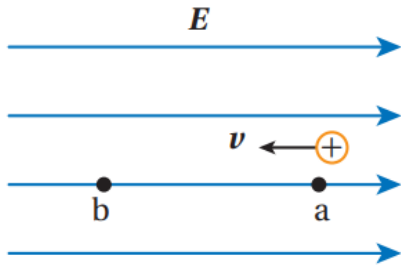
8. بين الشكل سطحًا مغلقًا على شكل منشور ثلاثي وضع في مجال كهربائي منتظم، فكان التدفق عبر الأسطح الثلاثة كما يأتي: التدفق عبر السطح (A) صفر، التدفق عبر السطح (B) سالب، التدفق عبر السطح (C) موجب، التدفق الكلي صفر. بناء على هذه النتيجة فإن اتجاه المجال يكون باتجاه محور:

- أ-  $+x$       ب-  $-x$       ج-  $+y$       د-  $-y$



9. كرتان موصلتان (X, Y) مشحونتان بمقدار الشحنة نفسه. الكثافة السطحية للشحنة على سطح الكرة (X) تساوي ( $\sigma$ ) 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 ( $\sigma$ ) يساوي:

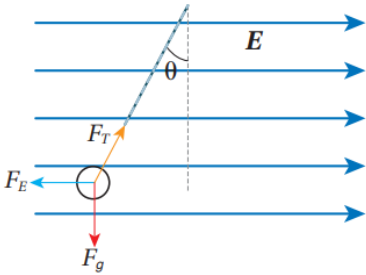
- أ-  $\frac{4\sigma}{\epsilon_0}$       ب-  $\frac{2\sigma}{\epsilon_0}$   
ج-  $\frac{\sigma}{2\epsilon_0}$       د-  $\frac{\sigma}{4\epsilon_0}$



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

أ-  $2.5 \times 10^{11} \text{ m/s}^2$  ، -x  
ب-  $4 \times 10^{10} \text{ m/s}^2$  ، -x

أ-  $2.5 \times 10^{11} \text{ m/s}^2$  ، +x  
ب-  $4 \times 10^{10} \text{ m/s}^2$  ، +x



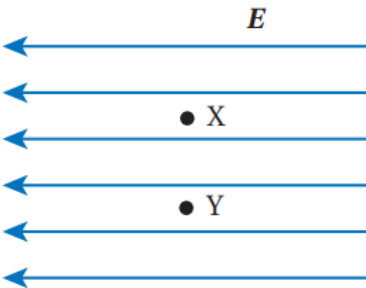
11. كرة صغيرة مشحونة وزنها ( $F_g$ )، عُلقت رأسياً بخيط داخل مجال كهربائي منتظم مقداره ( $E$ )، فأتزنت كما هو مبين في الشكل. مقدار شحنة الكرة، ونوعها يساوي:

أ-  $\frac{F_g \tan \theta}{E}$  ، سالبة

أ-  $\frac{F_g \tan \theta}{E}$  ، موجبة

ب-  $\frac{E}{F_g \tan \theta}$  ، سالبة

ب-  $\frac{E}{F_g \tan \theta}$  ، موجبة



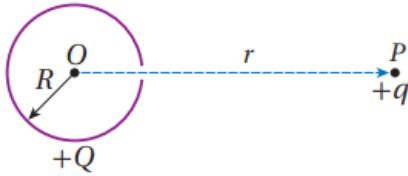
12. جسيما (X, Y) مشحونان بشحنتين متساويتين، أطلقا من السكون داخل مجال كهربائي منتظم، من النقطة نفسها، كما يبين الشكل. وبعد مرور مدة من الزمن وجد أن سرعة الجسيم (X) أكبر من سرعة الجسيم (Y). المعلومة المؤكدة التي أستنتجها عن الجسيمين:

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

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

ج- 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-  $\frac{k q Q}{r}$     ب-  $\frac{k q Q}{R}$     ج-  $\frac{k (Q-q)}{R}$     د-  $k q Q \left( \frac{1}{R} - \frac{1}{r} \right)$

+6 V    +3  $\mu$ C

-6 V    -3  $\mu$ C

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

أ-  $Q = 0, V = 0$

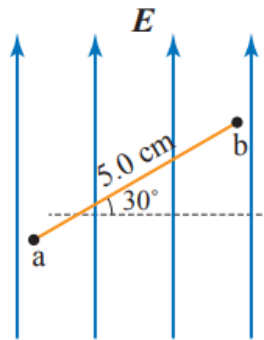
ب-  $Q = 3 \mu C, V = 6 V$

ج-  $Q = 6 \mu C, V = 12 V$

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-  $E, 3Q$     ج-  $\frac{1}{3} E, Q$     د-  $\frac{1}{3} E, 3Q$



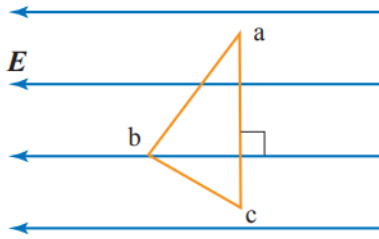
② **أستخدم الأرقام:** مجال كهربائي منتظم مقداره  $3.0 \times 10^4 N/C$

كما في الشكل، مستعينا بالشكل أحسب:

أ- فرق الجهد  $(V_a - V_b)$ .

ب- التغير في طاقة الوضع الكهربائية لشحنة مقدارها  $(-6.0 pC)$

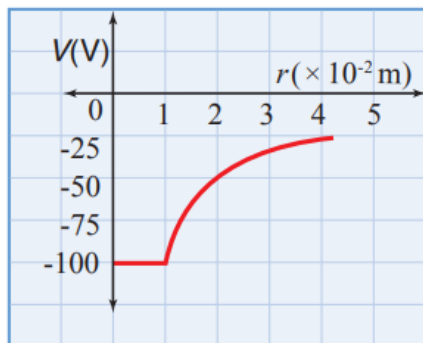
عند انتقالها من النقطة a إلى النقطة b.



③ **التفكير الناقد:** (3) نقاط  $(a, b, c)$  في مجال كهربائي منتظم كما في الشكل، إذا بذلت القوة الكهربائية شغلا مقداره  $(100 J)$  لنقل بروتون من النقطة  $a$  إلى النقطة  $b$ ، فأحسب:

أ- التغير في طاقة الوضع الكهربائية عند انتقال البروتون من النقطة  $a$  إلى النقطة  $c$ .

ب- الشغل الذي تبذله القوة الكهربائية لنقل البروتون من النقطة  $c$  إلى النقطة  $b$ .



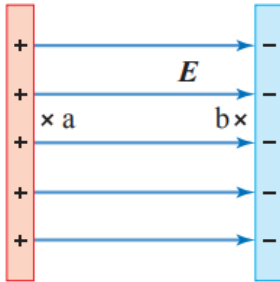
④ **استنتاج:** يُمثل الرسم البياني في الشكل، العلاقة بين الجهد الكهربائي والبعد عن مركز موصل كروي مشحون بشحنة سالبة، مستعينا بالشكل أحسب:

أ- جهد الموصل الكروي.

ب- الشغل المبذول من قبل القوة الكهربائية لنقل شحنة  $(+6.0 nC)$  من نقطة تبعد  $(4 cm)$  إلى نقطة أخرى تبعد  $(2 cm)$  عن مركز الموصل.

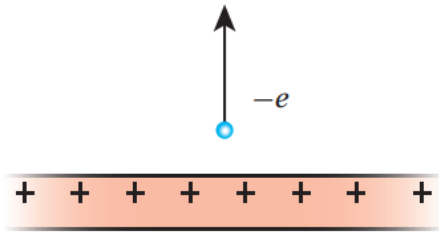


- ⑤ **استخدم الأرقام:** يُستعمل مواسع مواسعته ( $180 \mu F$ ) في وحدة إضاءة (فلاش) الكاميرا كما في الشكل لتخزين الطاقة الكهربائية؛ لتفرغ من المواسع خلال جزء من الثانية على شكل طاقة ضوئية في أثناء التقاط الصورة. إذا شحنت المواسع حتى أصبح جهده ( $200 V$ ) بوساطة بطارية؛ فأحسب:
- شحنة المواسع الكلية.
  - الطاقة الكهربائية المخزنة في المواسع.



- ⑥ **جسيم كتلته ( $m$ ) وشحنته ( $q$ )، بدأ حركته 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 ( $\sigma$ ).

أطلق إلكترون من نقطة بالقرب من القشرة رأسياً إلى

أعلى بسرعة ابتدائية ( $2.0 \times 10^5 \text{ m/s}$ )، فكانت

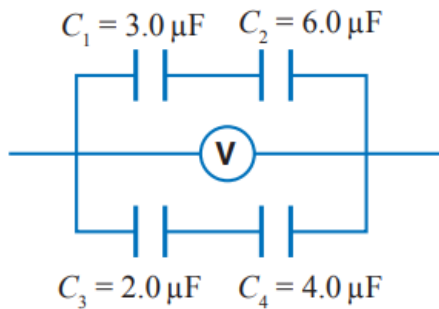
المدة الزمنية من لحظة إطلاقه إلى لحظة رجوعه إلى نقطة الإطلاق ( $14.0 \times 10^{-12} \text{ s}$ ).

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

أحسب:

أ- تسارع الإلكترون

ب- الكثافة السطحية للشحنة ( $\sigma$ ).



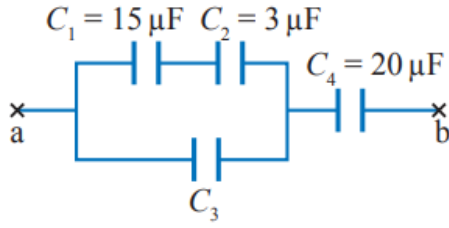
⑧ **استخدم الأرقام:** يُمثل الشكل جزءاً من دائرة

كهربائية، إذا علمت أن قراءة الفولتميتر ( $12 \text{ V}$ )؛

فأحسب:

أ- المواسعة المكافئة.

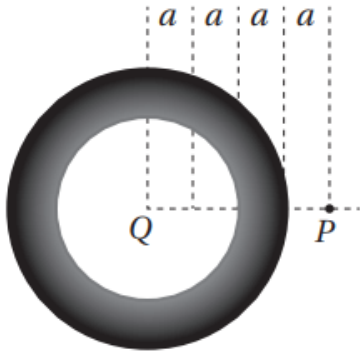
ب- الطاقة الكلية المخزنة في المواسعات.



⑨ **أستخدم الأرقام:** تتصل أربع مواسعات معا في جزء من دائرة كهربائية كما في الشكل. إذا علمت أن شحنة المواسع  $C_4$  تساوي  $(30 \mu\text{C})$ ؛ وفرق الجهد بين النقطتين  $a$  و  $b$  يساوي  $4.5 \text{ V}$ ، أحسب المواسعة  $(C_3)$ .

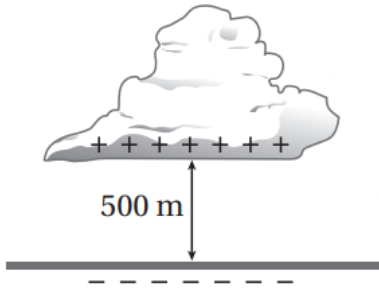
## أسئلة تفكير

① أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة لكل جملة مما 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:

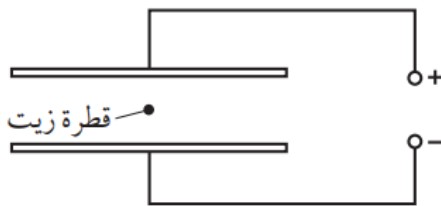
أ-  $\frac{kQ}{16a^2}$       ب-  $\frac{3kQ}{16a^2}$   
ج-  $\frac{kQ}{9a^2}$       د-  $\frac{kQ}{16a^2}$



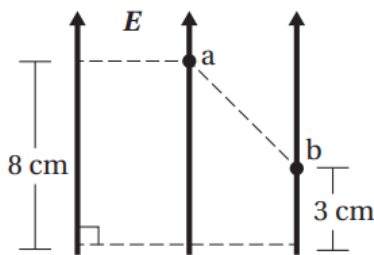
2. يبين الشكل سحابة رعدية على ارتفاع  $(500 \text{ m})$  من سطح الأرض. فرق الجهد بين السطح السفلي للسحابة وسطح الأرض  $(200 \text{ MV})$ . بافتراض المجال الكهربائي بين السحابة والأرض منتظما؛ فإن القوة الكهربائية المؤثرة في قطرة ماء شحنتها  $(4.0 \times 10^{-12} \text{ C})$  موجودة في هذا الحيز تساوي:

أ-  $1.6 \times 10^{-6} \text{ N}$       ب-  $8.0 \times 10^{-4} \text{ N}$       ج-  $1.6 \times 10^{-3} \text{ N}$       د-  $0.40 \text{ N}$

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.  
ج- زيادة مقدار الشحنة السالبة على القطرة.  
د- نقل الشحنة لتصبح أقرب إلى الصفيحة الموجبة.

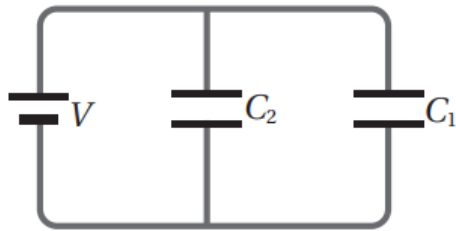


4. اعتمادًا على البيانات المثبتة على الشكل، وإذا علمت أن مقدار المجال الكهربائي المنتظم  $(100 \text{ V/m})$ ؛ فإن فرق الجهد  $(V_a - V_b)$  يساوي:

أ-  $5 \text{ V}$       ب-  $-5 \text{ V}$   
ج-  $-8 \text{ V}$       د-  $8 \text{ V}$

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

- أ-  $8.0 \times 10^2 \text{ N/C}$       ب-  $1.6 \times 10^3 \text{ N/C}$   
ج-  $2.4 \times 10^3 \text{ N/C}$       د-  $2.0 \times 10^4 \text{ N/C}$



4 - د

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

2 - ح

ب-  $\frac{1}{4}$

أ-  $\frac{1}{8}$

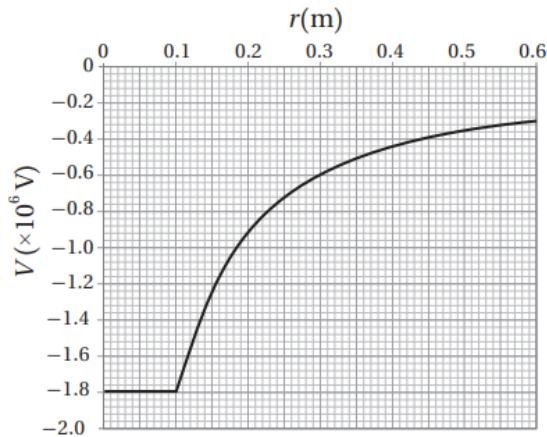
7. موصل كروي ( $A$ ) مشحون ومعزول، نصف قطره ( $10 \text{ cm}$ ) وشحنته ( $Q$ )، والجهد الكهربائي عند نقطة على سطح الموصل يساوي ( $V$ ). عند شحن موصل معزول آخر ( $B$ ) نصف قطره ( $15 \text{ cm}$ ) بمقدار الشحنة نفسها ( $Q$ )، يكون الجهد الكهربائي عند نقطة على سطح الموصل ( $B$ ):

د-  $\frac{3}{2} V$

ح-  $V$

ب-  $\frac{2}{3} V$

أ-  $\frac{V}{3}$



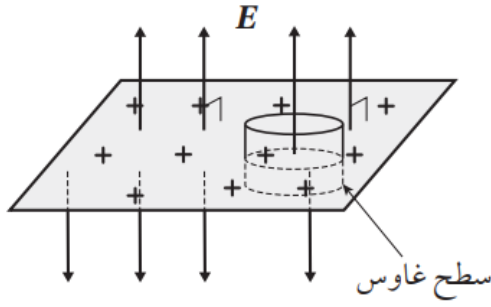
8. يمثل الرسم البياني المبين في الشكل العلاقة بين الجهد الكهربائي والبعد عن مركز موصل كروي مشحون. المجال الكهربائي على بعد ( $0.3 \text{ m}$ ) من مركز الموصل:

أ-  $6 \times 10^5 \text{ V/m}$

ب-  $2 \times 10^6 \text{ V/m}$

ج-  $2 \times 10^5 \text{ V/m}$

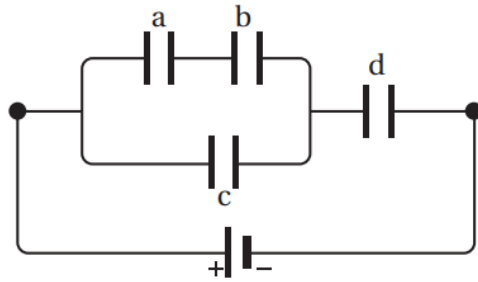
د-  $6 \times 10^6 \text{ V/m}$



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

- أ-  $29.6 \text{ cm}^2$     ب-  $14.8 \text{ cm}^2$     ج-  $7.40 \text{ cm}^2$     د-  $5.30 \text{ cm}^2$

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



- أ-  $a = b < c < d$     ب-  $a = b = c = d$     ج-  $d < c < a = b$     د-  $c < a = b < d$

② التفكير الناقد: ثلاثة مواسعات متساوية في المواسعة، عند وصلها معاً 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 رياضياً.

- 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.

## تجربة استهلاكية



### تخطيط المجال الكهربائي المنتظم

**المواد والأدوات:** مصدر كهربائي عالي القدرة ( $0 - 3 \text{ kV}$ )

أو مولد فان دي غراف، طبق بتري زجاجي، قطبان كهربائيان من الألمنيوم، قطع بلاستيكية عازلة لتثبيت القطبين، زيت الخروع أو أي زيت نباتي قليل اللزوجة، بذور أعشاب صغيرة الحجم (مثل بذور البقدونس).

**إرشادات السلامة:** الحذر عند استعمال مولّد فان دي غراف، وعدم لمس التوصيلات الكهربائية ومصدر الجهد.

**تحذير:** جهد كهربائي عال جدا يسبب صدمة كهربائية.

**خطوات العمل:**

**بالتعاون مع أفراد مجموعتي؛ أنقذ الخطوات الآتية:**

1. **أضع** كمية من الزيت في الطبقة الزجاجية حتى ارتفاع ( $0.5 \text{ cm}$ ) تقريباً، ثم أنثر فوقها كمية قليلة من بذور الأعشاب، وأحرك الزيت بقضيب زجاجي رفيع كي تنتشر بذور الأعشاب فوق الزيت.

2. **أثبت** القطبين الكهربائيين في العازل بحيث ينغمس طرفاهما في الزيت، ثم أوصلهما بمصدر الطاقة الكهربائية أو بمولد فان دي غراف (عند استعماله بدلا عن مصدر الطاقة عالي الجهد).

3. بمساعدة معلمي / معلمتي؛ **أضبط** مصدر الطاقة على جهد يقع بين ( $2,000 - 3,000 \text{ volts}$ )، أو **أشغل** مولّد فان دي غراف (عند استعماله بدلا عن مصدر الطاقة عالي الجهد).

4. **ألاحظ** اصطافاف البذور في الحيز بين الصفيحتين، حيث يمثل النمط الذي أحصل عليه خطوط المجال الكهربائي في الحيز بين الصفيحتين.

5. بمساعدة معلمي / معلمتي، **أطفئ** مصدر الطاقة، أو **أوقف** مولد فان دي غراف و**أفرغ** شحنته، ثم **أغير** المسافة بين القطبين داخل الزيت، وأكرر خطوات التجربة.

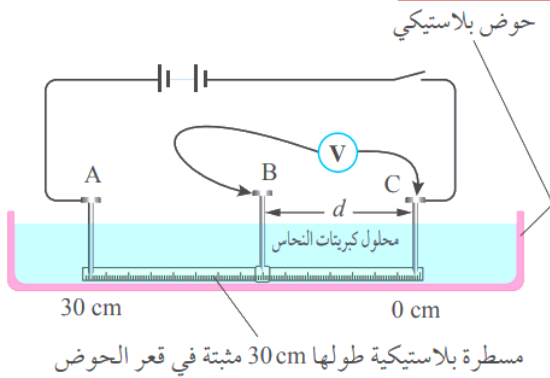
**التحليل والاستنتاج:**

1. **أفسر** سبب استعمال زيت نباتي، وعدم استعمال الماء في الطبقة الزجاجية.

2. **أصف** خطوط المجال الكهربائي في الحيز بين الصفيحتين، وأوضح إجابتي بالرسم.

3. **أفسر** سبب تأثر بذور الأعشاب بقوى كهربائية؛ على عدم شحنتها قبل التجربة.

## التجربة 1



### العلاقة بين فرق الجهد الكهربائي والمجال الكهربائي

**المواد والأدوات:** مصدر طاقة (تيار مستمر DC)،

فولتميتر، أسلاك توصيل، (3) لواقط فلزية،

مسطرة بلاستيكية (30 cm)، حوض بلاستيكي،

محلول كهربي قليل التركيز (محلول كبريتات

النحاس)، (3) مسامير.

**إرشادات السلامة:** الحذر في التعامل مع محلول

كبريتات النحاس.

**خطوات العمل:**

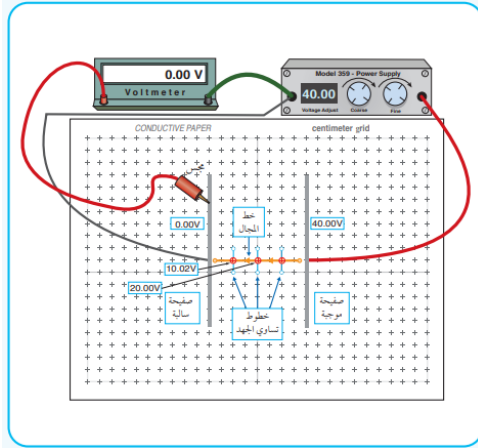
**بالتعاون مع أفراد مجموعتي؛ أنقذ الخطوات الآتية:**

1. **أثبت** كلا من المسطرة البلاستيكية أسفل الحوض، ومسمارًا عند كل طرف من طرفي المسطرة في النقطتين (A و C)، ثم **أسكب** محلول كبريتات النحاس بحذر في الحوض بحيث تبقى قاعدة المسمارين بارزة فوق المحلول كما في الشكل.
2. **أصل** أجزاء الدارة الكهربائية؛ بحيث **أثبت** طرف السلك المتصل بالقطب الموجب للفولتميتر بقاعدة مسمار عند النقطة B قابل للحركة بين النقطتين (A و C).
3. **أتوقع:** كيف تتغير قراءة الفولتميتر كلما تحرك المسمار B نحو النقطة A بعد إغلاق الدارة؟
4. **ألاحظ:** أغلق الدارة وأحرك رأس المسمار B أفقيًا بخط مستقيم إلى نقطة تبعد (3 cm) عن النقطة C وأدون كلا من قراءة الفولتميتر والإزاحة d في الجدول.
5. **أكرر** الخطوة (4) مرات عدة؛ بزيادة الإزاحة d مقدار (3 cm) في كل مرة ( $d = 6, 9, \dots, 27 \text{ cm}$ )، وأدون نتائجي في الجدول.

**التحليل والاستنتاج:**

1. **أرسم** بيانيا العلاقة بين فرق الجهد الكهربائي (قراءة الفولتميتر) على محور y والإزاحة d على محور x؛ بحيث يكون فرق الجهد بوحدة V (volt) والإزاحة بوحدة m (meter).
2. **أستخدم الأرقام:** أحسب ميل الخط بين النقطتين ( $d = 9 \text{ cm}$ ) و ( $d = 21 \text{ cm}$ )؛ إذ يمكن افتراض المجال بينهما منتظمًا، والعلاقة بين فرق الجهد والإزاحة خطية تقريبًا.
3. **أستنتج:** ما العلاقة بين ميل الخط ومقدار المجال الكهربائي؟
4. **أتوقع** مصادر الخطأ المحتملة في التجربة.
5. **أفسر:** ما سبب استبعاد بداية الخط في الرسم البياني ونهايته؟

## التجربة 2



### رسم خطوط تساوي الجهد عملياً

**المواد والأدوات:** لوح رسم خرائط المجال الكهربائي، ورق رسم بياني، قلم رصاص، فولتميتر رقمي، مصدر طاقة (تيار مستمر  $DC$ ) رقمي، كرتان فلزيتان صغيرتان، صفيحتان فلزيتان، أسلاك توصيل، مجس.

**إرشادات السلامة:** الحذر في التعامل مع التوصيلات

الكهربائية أو تطبيق جهد كبير.

**خطوات العمل:**

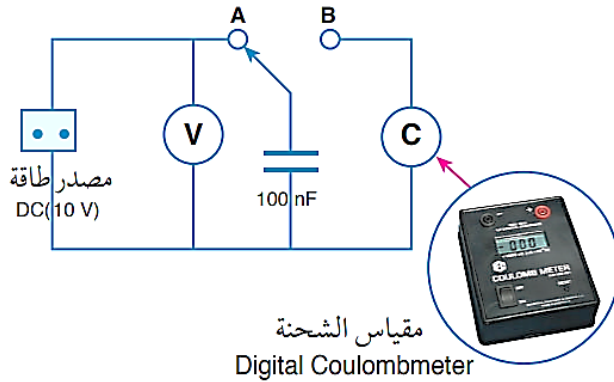
**بالتعاون مع أفراد مجموعتي؛ أنقذ الخطوات الآتية:**

1. **أصل** الأدوات كما في الشكل وعدم غلق الدارة الكهربائية إلا بعد التأكد منها من قبل المعلم / المعلمة.
2. **أقيس:** أثبت مصدر الجهد على جهد معين ( $40\text{ V}$ )، وتأكد أن قراءة الفولتميتر تساوي صفراً عند ملامسة المجس للصفحة السالبة كما في الشكل، ثم **أحرك** المجس المتصل بالقطب الموجب للفولتميتر مبتعداً عن الصفحة السالبة حتى يقرأ الفولتميتر جهداً محدداً ( $10\text{ V}$  مثلاً)، و**أحدد** موقع تلك النقطة باستعمال ورقة الرسم البياني.
3. **أحدد** مواقع (4) نقاط أخرى مساوية لجهد النقطة السابقة، ثم **أرسم** الخط المار بالنقاط الخمس والذي يمثل خطاً من خطوط تساوي الجهد.
4. **أكرر** الخطوتين (2 - 3) مرات عدة باستعمال قراءات أخرى للفولتميتر ( $20\text{ V}$ ,  $30\text{ V}$ ).
5. **أكرر** الخطوات (2 - 4)؛ باستعمال كرة فلزية بدلاً من إحدى الصفيحتين.

**التحليل والاستنتاج:**

1. **أتوقع** قراءة الفولتميتر عند وضع المجس على الصفحة السالبة، ثم **أتأكد** من ذلك عملياً.
2. **أصف** خطوط تساوي الجهد التي رسمتها.
3. **أرسم** خطوط المجال الكهربائي بناءً على خطوط تساوي الجهد.
4. **أستخدم الأرقام:** أحسب مقدار المجال الكهربائي بين الصفيحتين؛ باستعمال فرق الجهد والمسافة بينهما.

## التجربة 3



### قياس مواسعة مواسع عمليا

**المواد والأدوات:** مصدر طاقة (تيار مستمر

DC)، فولتمتر، مواسع، مقياس الشحنة

(Coulomb Meter) يقيس لغاية

(2000 nC)، أسلاك توصيل.

**إرشادات السلامة:** الحذر من تطبيق جهد

أعلى من الجهد المكتوب على المواسع،

ومن لمس طرفي المواسع بعد شحنه.

**خطوات العمل:**

**بالتعاون مع أفراد مجموعتي؛ أنقذ الخطوات الآتية:**

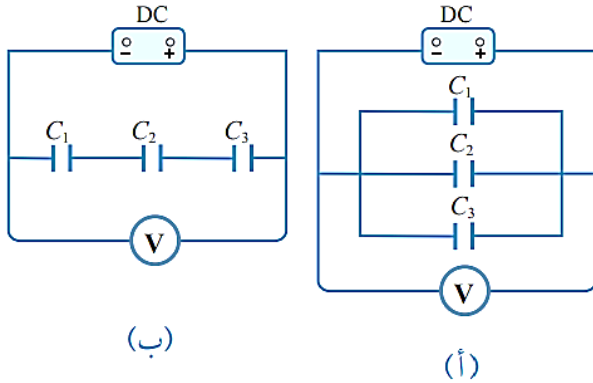
1. **أعاير** كلا من الفولتمتر ومقياس الشحنة، ثم **أصل** أجزاء الدارة الكهربائية كما في الشكل؛ باستعمال جهد محدد (مثلا 0.5 V) مع إبقاء الطرف الحر للمواسع غير متصل بأي طرف.
2. **أقيس:** أصل الطرف الحر للمواسع مع الطرف A حتى يشحن المواسع، ثم **أدون** قراءة الفولتمتر في الجدول، التي تمثل فرق الجهد بين طرفي المواسع.
3. **أقيس:** أفصل الطرف الحر للمواسع مع الطرف A، ثم أصله مع الطرف B مدة زمنية كافية لتفريغ شحنة المواسع خلال مقياس الشحنة، ثم **أدون** قراءته في الجدول، وهي تمثل مقدار الشحنة المخزنة في المواسع.
4. **استعمل** مصدر الطاقة لتغيير قراءة الفولتمتر لعدة قيم (1 V, 1.5 V, 2 V, 2.5 V, 3 V)، و**أكرر** الخطوتين الثانية والثالثة عند كل قراءة، و**أدون** نتائج في الجدول.

**التحليل والاستنتاج:**

1. **أرسم** بيانيا العلاقة بين جهد المواسع (قراءة الفولتمتر) بوحدة (V) على محور  $x$  + وشحنه (مقياس الشحنة) بوحدة (C) على محور  $y$  +، ثم **أرسم** أفضل خط مستقيم يمر بمعظم النقاط.
2. **أستخدم الأرقام:** أحسب ميل الخط المستقيم  $\left(\frac{\Delta Q}{\Delta V}\right)$ . ما الكمية الفيزيائية التي يمثلها الميل؟
3. **أقارن** النتيجة التي حصلت عليها للمواسعة مع مقدار المواسعة المكتوب على المواسع. ما سبب الاختلاف إن وجد؟

## التجربة 4

### المواسعة المكافئة لعدة مواسعات تتصل على التوالي، أو التوازي



**المواد والأدوات:** (3) مواسعات، مصدر طاقة

(تيار مستمر DC)، فولتميتر، أسلاك توصيل، لواقط فلزية.

**إرشادات السلامة:** الحذر من رفع جهد المصدر إلى جهد عال، ما يؤدي إلى تلف المواسعات إضافة إلى خطورته.

**خطوات العمل:**

**بالتعاون مع أفراد مجموعتي؛ أنقذ الخطوات الآتية:**

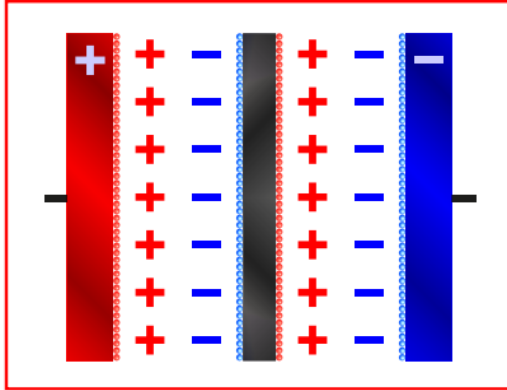
1. **أتأكد** من أن المواسعات غير مشحونة ( $V = 0$ ) عن طريق توصيل سلك سميك بين طرفي المواسع.
2. **أصل** المواسعات الثلاثة على التوازي كما في الدارة الميينة في الشكل (أ)، ثم **أغلق** الدارة.
3. **أقيس:** أرفع جهد مصدر الطاقة حتى تصبح قراءة الفولتميتر أقل من الجهد المكتوب على المواسع ( $10\text{ V}$  مثلاً)، ثم **أفصل** الفولتميتر وأستعمله لقياس جهد كل مواسع من المواسعات الثلاثة، وأدون نتائجي في الجدول.
4. **أفصل** الدارة وأفرغ المواسعات من شحنتها، ثم **أعيد** توصيلها على التوالي كما في الشكل (ب)، وأغلق الدارة.
5. **أكرر** الخطوة (3)، وأدون نتائجي في الجدول.

**التحليل والاستنتاج:**

1. **أقارن** - عن طريق النتائج العملية - بين المواسعات في حالة التوصيل على التوازي والتوصيل على التوالي من حيث الشحنة والجهد. هل تتفق النتائج العملية مع ما تعلمته نظرياً؟
2. **أستخدم الأرقام:** أحسب المواسعة المكافئة المقيسة والمواسعة المكافئة المتوقعة، وأقارن بينهما.
3. **أتوقع** مصادر الخطأ المحتملة في التجربة. كيف يمكنني تجنبها؟

### المواسع الفائقة Supercapacitor

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



بدأت عملية تطوير المواسعات منذ عشرات السنين لتخزين طاقة أكبر عن طريق المواسعات الفائقة، التي تدعى أحياناً المواسعات ذات الطبقة المضاعفة Double layer capacitors (DLC) كونها الأكثر انتشاراً، أنظر إلى الشكل المجاور. وهي مواسعات ذات مواسعة عالية جداً تصل إلى مئات الآلاف من الفاراد وبحجم مماثل للمواسعات العادية، ولكن

جهدتها قليل يتراوح بين  $(2.5 - 2.75 V)$  مقارنة مع جهود المواسعات العادية كما في الشكل، ولكن يمكن توصيل عدة مواسعات على التوالي للحصول على جهد أكبر. عند المقارنة بين المواسعات الفائقة والبطاريات المستعملة حالياً مثل بطارية الليثيوم؛ فإن المواسعات الفائقة تتميز عن البطاريات بما يأتي:

- زمن الشحن والتفريغ قليل جداً.
- عدد دورات الشحن والتفريغ التي يمكن إجراؤها قد تصل إلى مليون دورة، بينما لا تصل في البطارية إلى أكثر من (1000) دورة.
- أمانة ولا تحتوي على مواد سامة في تركيبها، وتكلفتها المادية قليلة.
- قدرتها على تحمل تغير درجات الحرارة  $(-50^{\circ}C) - (80^{\circ}C)$

