



دولة فلسطين  
وزارة التربية والتعليم

# الفيزياء العلمي والصناعي الفترة الرابعة

جميع حقوق الطبع محفوظة ©

دولة فلسطين  
وزارة التربية والتعليم



مركز المناهج

mohe.ps | mohe.pna.ps | moehe.gov.ps

facebook.com/MinistryOfEducationWzartAltrbytWaltlym

هاتف +970 2 2983280 | فاكس +970 2 2983250

حي الماصيون، شارع المعاهد

ص. ب 719 - رام الله - فلسطين

pcdc.mohe@gmail.com | pcdc.edu.ps

# المحتويات

٣	الفصل الثامن: الشحنة الكهربائية وقانون كولوم
١١	الفصل التاسع: المجال الكهربائي
٢٣	الفصل العاشر: الجهد الكهربائي

اكتشف الإغريق ظاهرة التكهرب قديماً عندما لاحظ الفيلسوف (طاليس) عام (600 ق.م.)، أنه عند ذلك حجر العنبر (الكهرمان) بقطعة قماش من فراء الحيوانات، فإنها تجذب ريش الطيور، والخيوط الصوفية، والقطن. فما المقصود بالتكهرب؟ وما الشحنة الكهربائية؟ وما أثرها في شحنات أخرى مجاورة؟

هذه الأسئلة وغيرها سوف تستطيع الإجابة عنها بعد دراستك هذه الوحدة، ويُتوقع منك أن:

- ◆ تتعرّف إلى مفهوم الشحنة الكهربائية وخصائصها.
- ◆ تذكر طرق التكهرب (الشحن)، وتفسرها.
- ◆ توضّح المقصود بتكمية الشحنة الكهربائية، وقانون حفظ الشحنة.
- ◆ تتعرّف إلى مفهوم القوة الكهربائية.
- ◆ تحلّ مسائل لحساب قوى التجاذب والتنافر بين الشحنات الكهربائية.

## 8 - 1 الشحنة الكهربائية وخصائصها

إن شحنة أي جسم مشحون ليست كمية متصلة مثل المواعيل بل هي عدد صحيح من مضاعفات شحنة الإلكترون ويعبر عن ذلك بتكمية الشحنة وبالتالي فإن شحنة أي جسم =

$$q = \pm n e , n = 1,2,3,\dots \quad (8-1)$$

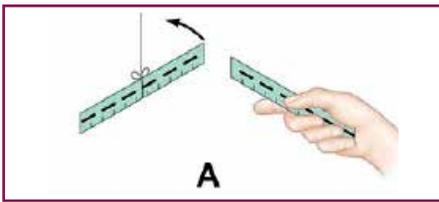
إن الشحنة الكهربائية خاصية فيزيائية لبعض الجسيمات الأولية كالبروتون والإلكترون وغيرها. وينشأ التكهرب بسبب فقدان أو اكتساب المادة للإلكترونات؛ أي لحدوث خلل في التعادل الكهربائي للمادة، وأن الشحنات المتشابهة تتنافر بينما المختلفة تتجاذب.

لتتعرف إلى الشحنة الكهربائية وعلاقتها بالمادة، قم بتنفيذ النشاط الآتي:

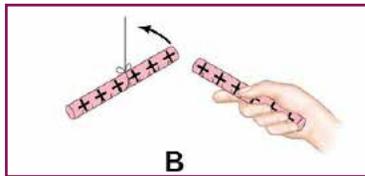
### نشاط (8-1): تنافر وتجاذب الأجسام المشحونة كهربائياً

المواد والأدوات: ساق زجاجي عدد (2)،  
ومسطرة بلاستيكية عدد (2)، وقطعة صوف،  
وقطعة حرير، وحامل معدني، وخيط.

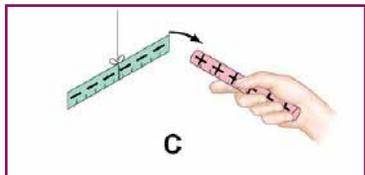
الخطوات: يوضح الشكل (8-1) خطوات تنفيذ التجربة وذلك بعمل ما يأتي:



عَلِّقْ مِسْطَرَةً بِلَاسْتِيكِيَّةٍ مَدْلُوكَةً بِقِطْعَةٍ مِنَ الصَّوْفِ  
بِخَيْطٍ فِي حَامِلٍ، ثُمَّ قَرِّبْ مِنْهَا مِسْطَرَةً أُخْرَى مَدْلُوكَةً بِقِطْعَةٍ  
مِنَ الصَّوْفِ.



عَلِّقْ سَاقاً زَجَاجِيّاً مَدْلُوكاً بِقِطْعَةٍ مِنَ الْحَرِيرِ بِخَيْطٍ فِي حَامِلٍ، ثُمَّ  
قَرِّبْ مِنْهُ سَاقاً أُخْرَى مِنَ الزَّجَاجِ مَدْلُوكاً بِقِطْعَةٍ مِنَ الْحَرِيرِ.



قَرِّبْ سَاقَ الزَّجَاجِ الْمَدْلُوكَ بِالْحَرِيرِ مِنَ الْمِسْطَرَةِ الْبِلَاسْتِيكِيَّةِ الْمَدْلُوكَةِ  
بِالصَّوْفِ، وَالْمَعْلُوقَةِ فِي الْخَيْطِ.

ماذا تلاحظ في كلِّ من الحالات؟ وماذا تستنتج؟

دوِّن مشاهداتك واستنتاجاتك في تقرير حول هذا النشاط.

يُظْهِرُ الشَّكْلُ الْمَجَاوِرُ (8-2) كَشَافاً كَهْرَبَائِيّاً الَّذِي مَرَّ مَعَكَ سَابِقاً.

الشكل (8-1)



الشكل (2-8)

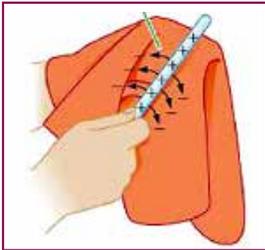
- ما استخدامات الكشاف الكهربائي؟
- كيف تكشف عن شحنة جسم ما؟
- هل يمكن معرفة نوع شحنة جسم مشحون؟

## سؤال

- ١- ما شحنة جسم فقد (100) إلكترون؟
- ٢- هل يمكن لجسم أن يحمل شحنة مقدارها  $(5 \times 10^{-19} \text{ C})$ ؟

## 2-8 شحن الأجسام كهربائياً (التكهرب)

## أ - الشحن بالدلك:

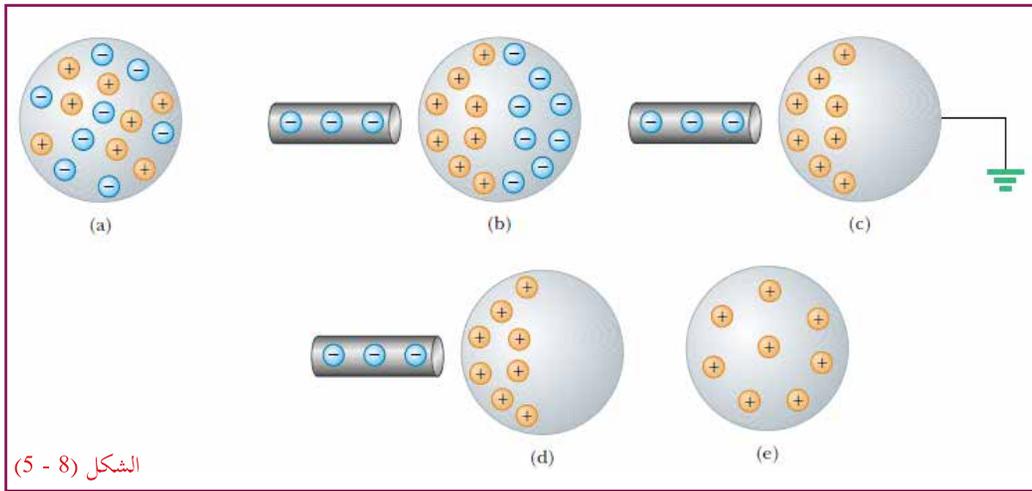


الشكل ( 8 - 4 )

عند ذلك جسمين متعادلين من مادتين عازلتين مختلفتين تنتقل الإلكترونات من أحد الجسمين إلى الآخر، وعدد الإلكترونات التي يفقدها أحد الجسمين يساوي تماماً عدد الإلكترونات التي يكتسبها الجسم الآخر، لذلك تكون شحنتاهما متساويتين مقداراً ومختلفتين نوعاً، مثل ذلك ساق من الزجاج بقطعة من الحرير، فإن الزجاج يفقد بعضاً من إلكتروناته، فيصبح موجب الشحنة، في حين يكتسب الحرير هذه الإلكترونات، فيصبح سالب الشحنة، كما في الشكل (8 - 4).

## ب - الشحن بالتأثير (الحث الكهروستاتيكي):

اكتشف الحث الكهروستاتيكي العالم البريطاني (جون كانتون) عام 1753. وأهم ما يميّز هذا النوع من طرق الشحن أنه يُستخدم لشحن المواد الموصلة، مثل النحاس. ويوضح الشكل (8-5) كيف تتم إعادة توزيع الشحنات الكهربائية الحرة على جسم موصل متعادل، تحت تأثير جسم آخر مشحون بشحنة سالبة لدى اقترابهما. لاحظ أن وصل الجسم الموصل بالأرض يفرغه من الشحنات السالبة؛ ما يترك الجسم مشحوناً بشحنة موجبة في هذه الحالة.



الشكل (8 - 5)

شكل (8 - 5): الحث الكهروستاتيكي: هو إعادة توزيع الشحنة الكهربائية في جسم بتأثير شحنات مجاورة.

## سؤال

كيف نشحن جسم بشحنة سالبة دائمة بطريقة الحث؟

## ج - الشحن باللمس:

إذا اتصل (أو تلامس) جسم موصل مشحون مع موصل متعادل، فتم إعادة توزيع الشحنات الحرة على الجسمين؛ ما يؤدي إلى شحن الموصل المتعادل، وتكون شحنتاهما من النوع نفسه، وهذا التوزيع يبقى المجموع الكلي للشحنات ثابتاً.

في طرق الشحن السابقة جميعها، وفي نظام معزول يكون المجموع الجبري الكلي للشحنة ثابتاً خلال عملية الشحن. وهذا ما يُعرف بمبدأ حفظ الشحنة.

## سؤال

فسّر « عند تقريب الغلاف البلاستيكي الخاص بتغليف الأطعمة من أوعية الطعام يجذب إليها ويلتصق بها ».

## (3-8) قانون كولوم

تعرفت سابقاً أنّ الشحنات الكهربائيّة المتشابهة تتنافر، والشحنات المختلفة تتجاذب. وتُسمّى قوة التجاذب أو التنافر، القوة الكهربائيّة. وقد أجرى العالم (كولوم) في عام (1785) م سلسلة من التجارب باستخدام ميزان (اللي) الذي صنعه بنفسه، وقام بتحديد العوامل التي تعتمد عليها القوة الكهربائيّة المتبادلة بين شحنتين نقطيتين. وقد استخدم في تجاربه كرات صغيرة مشحونة جعل البُعد بينها أكبر بكثير من أنصاف أقطارها، بحيث يمكن إهمال أبعاد الكرات وكأنّها تتمركز الشحنة في مركزها، وبذلك تُعامل كشحنات نقطية. دلت نتائج تجارب كولوم على أنّ القوة الكهربائيّة المتبادلة بين الشحنات الكهربائيّة الساكنة:

١. قوة تجاذب إذا كانت الشحنات مختلفة، وقوة تنافر إذا كانت الشحنات متشابهة.

٢. تتناسب طردياً مع حاصل ضرب مقدار الشحنتين.

٣. تتناسب عكسياً مع مربع المسافة بين الشحنتين، ويكون اتجاهها على امتداد الخط الواصل بين الشحنتين.

وتمثل هذه النتائج خصائص القوة الكهروستاتيكية، ومنها استطاع صياغة قانون يُعرف باسمه، قانون كولوم، ينصّ على أن: القوة المتبادلة (F) بين شحنتين نقطيتين ( $q_2$  ،  $q_1$ ) تفصل بينهما مسافة (r) تتناسب طردياً مع حاصل ضرب مقدار الشحنتين، وعكسياً مع مربع المسافة بينهما. ويمكن التعبير عنه رياضياً بالعلاقة:

$$F = k \frac{q_1 \times q_2}{r^2} \quad (8-2)$$

حيث k: ثابت تعتمد قيمته على طبيعة الوسط الذي توجد فيه الشحنات، فإذا كان الوسط فراغاً، فيُعبّر عن هذا الثابت بالمقدار ( $9 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$ )، وغالباً ما يمكن اعتماد ذات القيمة للهواء، حيث يُعدّ الفارق بسيطاً،

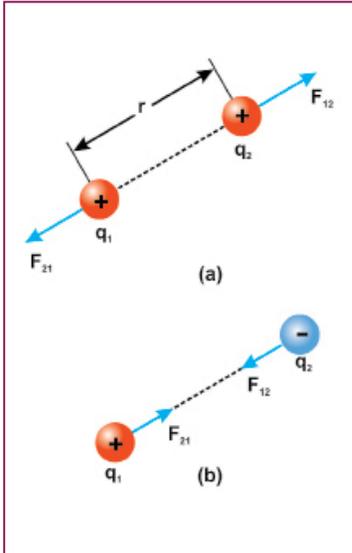
ويكتب على الصورة:  $k = \frac{1}{4 \pi \epsilon_0}$ ، حيث  $\epsilon_0$ : السماحية الكهربائية للفراغ.

## سؤال

احسب مقدار  $\epsilon_0$  ، وما وحدتها؟

وكما تعلم، فالقوة الكهربائية كمية متجهة، والعلاقة السابقة تعطينا مقدار القوة. أمّا اتجاهها، فيكون دائماً على امتداد الخط الواصل بين الشحنتين. فالشحنتان ( $q_2$  ،  $q_1$ ) في الشكل (a - 6 - 8) تؤثر كلٌّ منهما في الأخرى بقوة تنافر، حيث  $F_{12}$  القوة التي تؤثر بها الشحنة  $q_1$  على  $q_2$ ، و  $F_{21}$  القوة التي تؤثر بها الشحنة  $q_2$  على  $q_1$  بالاتجاهات المبينة في الشكل (b - 6 - 8). ما العلاقة بين مقدار واتجاه كلٍّ من  $F_{21}$ ،  $F_{12}$  ؟

الكولوم: هو مقدار الشحنة التي ينقلها تيار كهربائي مقداره أمبير واحد في ثانية واحدة.



الشكل (8 - 6)

عرّف الكولوم من خلال قانون كولوم.

من السهل تطبيق قانون كولوم على الشحنات النقطيّة؛ أيّ الحالات التي تكون فيها أبعاد الأجسام المشحونة صغيرة بالمقارنة بالمسافات بينها، حيث يمكن اعتبار الشحنات الكهربائيّة على الأجسام، كما لو كانت مركّزة في نقطة واحدة. أما إذا كانت الشحنات ممتدة فوق منطقة كبيرة، فيصعب تطبيق قانون كولوم بصورته العادية. ممّا سبق نلاحظ أنّ قانون كولوم يُستخدم لحساب القوة المتبادلة بين شحنتين نقطيتين، بينما إذا وجدت عدد من الشحنات، فإنّ القوة الكليّة المؤثّرة في إحدى الشحنات تساوي محصّلة القوى المؤثّرة في تلك الشحنة من الشحنات الأخرى؛ أي أنّ:

$$\vec{F}_1 = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{13} + \dots \quad (8-3)$$

**مثال 1:** شحنتان نقطيتان موجبتان في الهواء والمسافة بينهما (60 cm)، مقدار الأولى (4  $\mu\text{C}$ )، ومقدار الثانية (9  $\mu\text{C}$ )، احسب:

(١) القوة التي تؤثر بها الشحنة الأولى في الثانية.

(٢) القوة التي تؤثر بها الشحنة الثانية في الأولى.

الحل:

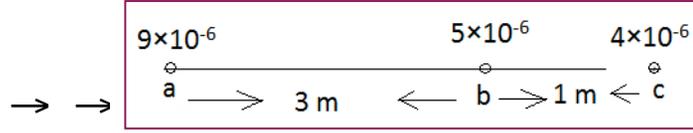
$$F_{12} = k \frac{q_1 \times q_2}{r^2} = 9 \times 10^9 \times 4 \times 10^{-6} \times 9 \times 10^{-6} / (0.6)^2 = 0.9 \text{ N} \quad (\text{تنافر}) \quad 1$$

$$F_{21} = k \frac{q_1 \times q_2}{r^2} = 9 \times 10^9 \times 4 \times 10^{-6} \times 9 \times 10^{-6} / (0.6)^2 = 0.9 \text{ N} \quad (\text{تنافر}) \quad 2$$

ماذا تستنتج؟

**مثال (2):** ثلاث شحنات نقطية موزعة ومبيّنة قيمها بالكولوم، كما في الشكل. احسب مقدار واتّجاه القوة المؤثرة في الشحنة الموضوعية عند النقطة (b).

الحل:



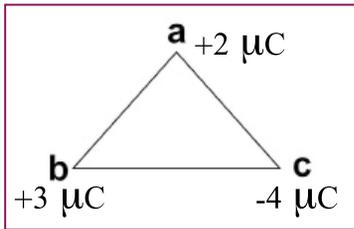
$$F_b = F_{ab} + F_{cb}$$

$$F_{ab} = k \frac{q_a \times q_b}{r^2} = 9 \times 10^9 \times 9 \times 10^{-6} \times 5 \times 10^{-6} / 3^2 = 4.5 \times 10^{-2} \text{ N} \text{ باتجاه اليمين (+x)}$$

$$F_{cb} = k \frac{q_c \times q_b}{r^2} = 9 \times 10^9 \times 4 \times 10^{-6} \times 5 \times 10^{-6} / 1^2 = 18 \times 10^{-2} \text{ N} \text{ باتجاه اليسار (-x)}$$

لاحظ أنّ الشحنة (b) تؤثر فيها قوتان متعاكستان تقعان على استقامة واحدة؛ لذلك فإن:

$$F_b = F_{cb} - F_{ab} = 18 \times 10^{-2} - 4.5 \times 10^{-2} = 1.35 \times 10^{-1} \text{ N} \text{ باتجاه اليسار (-x)}$$



**مثال (3):** مثلث متساوي الأضلاع طول ضلعه (20 cm)، وضعت على

رؤوسه الشحنات (4-، 3+، 2+) ميكروكولوم على الترتيب، احسب محصلة القوى المؤثرة في الشحنة الموضوعية عند (b).

الحل:

$$\rightarrow \rightarrow \rightarrow$$

$$F_b = F_{ab} + F_{cb}$$

$$F_{ab} = k \frac{q_a \times q_b}{r^2} = 9 \times 10^9 \times 2 \times 10^{-6} \times 3 \times 10^{-6} / (0.2)^2 = 1.35 \text{ N} \text{ (باتجاه ab)}$$

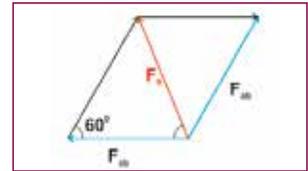
$$F_{cb} = k \frac{q_c \times q_b}{r^2} = 9 \times 10^9 \times 4 \times 10^{-6} \times 3 \times 10^{-6} / (0.2)^2 = 2.7 \text{ N} \text{ (باتجاه bc)}$$

$$F_b^2 = F_{ab}^2 + F_{cb}^2 + 2 F_{ab} F_{cb} \cos 120 = (2.7)^2 + (1.35)^2 + 2 \times 2.7 \times 1.35 \times (-0.5)$$

$$= 7.29 + 1.8225 + 2 \times 2.7 \times 1.35 \times -0.5 = 9.113 - 3.645 = 5.5$$

$$F_b = \sqrt{5.5} = 2.34 \text{ N}$$

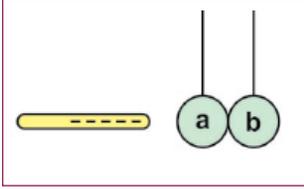
$$\frac{F_b}{\sin 60} = \frac{F_{ab}}{\sin \alpha} \rightarrow \frac{2.34}{0.86} = \frac{1.35}{\sin \alpha} \rightarrow \alpha = 30^\circ$$



## أختبر نفسي:

1

اختر الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

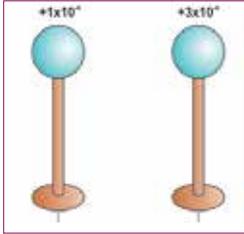


(1) يبيّن الشكل المجاور كرتين فلزيّتين (a , b) غير مشحونتين ومتلامستين. تم وضع موصل مشحون بشحنة سالبة بالقرب من الكرة (a) دون أن يلامسها. عند إبعاد الكرة (b) عن الكرة (a) فإنّ:

- أ) الكرة (b) تشحن بشحنة موجبة، والكرة (a) تكون غير مشحونة.  
 ب) الكرة (b) تشحن بشحنة موجبة، والكرة (a) تشحن بشحنة سالبة.  
 ج) الكرة (b) تشحن بشحنة سالبة، والكرة (a) تشحن بشحنة موجبة.  
 د) الكرة (a) تشحن بشحنة موجبة، والكرة (b) تكون غير مشحونة.

(2) شحنتان نقطيتان، شحنة الأولى (2 q) والثانية (q). إنّ مقدار القوة التي تؤثر بها الشحنة الأولى في الثانية تساوي:

- أ) مثلي القوة التي تؤثر فيها الثانية في الأولى.  
 ب) نصف القوة التي تؤثر فيها الثانية في الأولى.  
 ج) أربعة أمثال القوة التي تؤثر فيها الثانية في الأولى.  
 د) القوة التي تؤثر فيها الثانية في الأولى.



(3) يبيّن الشكل المجاور كرتين فلزيّتين متماثلتين مشحونتين ومعزولتين، والمسافة بين مركزيهما (10 cm). إذا لامست الكرة الأولى الكرة الثانية ثم أُبعدتا إلى المسافة نفسها، فإنّ القوة المتبادلة بينهما بوحدة نيوتن تساوي:

- أ) 1.4      ب) 1.8      ج) 3.6      د) 14

(4) إذا كانت القوة المتبادلة بين شحنتين نقطيتين متساويتين المسافة بينهما (r) تساوي (16N)، فإنّ القوة المتبادلة بينهما عندما تصبح المسافة بينهما (2r) تساوي (بوحدة نيوتن):

- أ) 1      ب) 2      ج) 4      د) 16



(5) يبيّن الشكل المجاور شحنتين نقطيتين موضوعتين على خط مستقيم في النقطتين (a , b). إنّ أكبر قوة تنافر تكون بين الشحنتان إذا كانت قيمهما:

- أ) (- 2 q)، (- 4 q)      ب) (- 2 q)، (+ 4 q)  
 ج) (+ q)، (+ 7 q)      د) (- q)، (- 4 q)

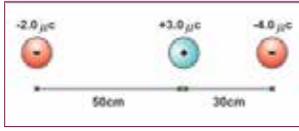
2

ما الفرق بين شحن موصل بالتأثير وشحنه باللمس؟

3

عندما يجذب جسم باتجاه جسم مشحون، هل نستنتج أنّ الجسم المنجذب بالضرورة مشحون. فسّر ذلك.

4 وضعت أربع شحنات كهربائية ( 1, 5.12, 2.16, -10) ميكروكولوم على رؤوس المستطيل (a b c d) على الترتيب. إذا كان طول (ab = 8 cm)، (ad = 6 cm)، فاحسب القوة المؤثرة في الشحنة الموضوعية في النقطة d.



5 وضعت كرة صغيرة مشحونة بشحنة موجبة مقدارها  $3\mu\text{C}$ ، بين كرتين فلزييتين مشحونتين بشحنتين سالبتين، كما في الشكل، مقدار الأولى ( $4\mu\text{C}$ )، وتبعد عنها ( $30\text{ cm}$ )، ومقدار الثانية ( $2\mu\text{C}$ ) وتبعد عنها ( $50\text{ cm}$ ). ما محصلة القوى المؤثرة في الشحنة الموجبة؟

6 الكرة (a) تحمل شحنة موجبة مقدارها ( $12\mu\text{C}$ )، والكرة (b) تحمل شحنة سالبة مقدارها ( $3\mu\text{C}$ )، والمسافة بينهما ( $1\text{ m}$ ). أجب عمّا يأتي:

أ) أين يجب أن توضع الكرة (c) والمشحونة بشحنة سالبة مقدارها ( $8\mu\text{C}$ ) على امتداد الخط الواصل بين الكرتين لتكون محصلة القوى المؤثرة فيها صفراً؟

ب) أين يجب أن توضع الكرة (c) والمشحونة بشحنة موجبة مقدارها ( $1\mu\text{C}$ ) على امتداد الخط الواصل بين الكرتين لتكون محصلة القوى المؤثرة فيها صفراً؟

## الفصل التاسع: المجال الكهربائي ( Electric Field )

درست في الوحدة السابقة قانون كولوم الذي يحدّد القوة المتبادلة بين الشحنات الكهربائية، ولكن ما الذي يجعل شحنة كهربائية تتأثر بقوة عندما تقترب منها شحنة أخرى؟ هل من الممكن أن تُعزى هذه القوة إلى وجود مجال كهربائي ينشأ بسبب هذه الشحنات كما هو الحال في مجال الجاذبيّة؟ وكيف نعرّف هذا المجال؟ وما خطوط المجال؟ هذه الأسئلة وغيرها سوف تستطيع الإجابة عنها بعد دراستك هذه الوحدة المتمازجة، ويُتوقّع منك أن:

- ◆ توضّح المقصود بكلّ من: المجال الكهربائي، والتدفق الكهربائي، وقانون جاوس.
- ◆ ترسم خطوط المجال الكهربائي لتوزيعات مختلفة من الشحنات.
- ◆ تحسب شدة المجال الكهربائي الناشئ عن شحنات نقطية وأجسام منتظمة.
- ◆ تتعرّف إلى المجال الكهربائي المنتظم وحركة شحنة نقطية فيه.
- ◆ تطبق قانون جاوس لحساب شدة المجال الكهربائي لتوزيعات متصلة ومتماثلة من الشحنات.

## 9-1 المجال الكهربائي (Electric Field)

تعرفت سابقاً أنّ الشحنات الكهربائية تؤثر بقوة في شحنة نقطية صغيرة تُسمّى شحنة اختبار ( $q_0$ )، موضوعة بالقرب منها حسب قانون كولوم، وأنّ كلاً من مقدار هذه القوة واتّجاهها يتغيّر بتغيّر موضع شحنة الاختبار بالنسبة للشحنة. إنّ الشحنات الكهربائيّة تولّد في الحيز المحيط بها خاصيّة تظهر على شكل قوى كهربائية تُسمّى المجال الكهربائي، وعند وضع شحنة أخرى في هذا الحيز؛ فإنّها تتأثر بهذا المجال على نحو ينسجم مع قانون كولوم.

وتُعرف شدة المجال الكهربائي ( $E$ ) عند نقطةٍ ما بأنّها القوة التي يؤثّر بها المجال على وحدة الشحنات الموجبة الموضوعة في تلك النقطة. فإذا كانت قيمة شحنة الاختبار الموضوعة في نقطة معينة في المجال هي ( $q_0$ )،

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad (9-1)$$

فتكون شدة المجال:

نلاحظ أنّ شدة المجال مرتبطة بالقوة فهي لذلك كمية متّجهة، ويكون اتّجاهها في نقطة ما باتّجاه القوة المؤثّرة في شحنة الاختبار الموجبة الموضوعة في تلك النقطة. وبالرجوع إلى المعادلة أعلاه فإنّ وحدة شدة المجال الكهربائي  $E$  هي  $N/C$ .

**مثال (1):** وضعت شحنة كهربائية مقدارها ( $4 \mu C$ ) في مجال كهربائي شدته ( $6 \times 10^4 N/C$ ). احسب القوة التي يؤثّر فيها المجال في الشحنة.

الحل:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \rightarrow \vec{F} = q_0 \vec{E} = 4 \times 10^{-6} \times 6 \times 10^4 = 0.24 N$$

باتّجاه المجال

إنّ هذه العلاقة تمكّننا من معرفة شدة المجال الكهربائي دون معرفة الشحنة أو الشحنات المولّدة له. فإذا كان المجال ناتجاً عن شحنة نقطية ( $q$ )، فإنّ مقدار القوة الكهربائيّة المتبادلة بين الشحنتين ( $q, q_0$ ) يكون:

$$F = k \frac{q \times q_0}{r^2} \rightarrow E = \frac{\vec{F}}{q_0} = \frac{k \frac{q \times q_0}{r^2}}{q_0} = k \frac{q}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{q}{r^2} \quad (9-2)$$

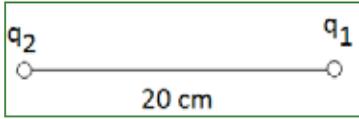
حيث  $r$ : بُعد النقطة المطلوب حساب شدة المجال عندها عن الشحنة ( $q$ ). ويكون اتّجاه المجال باتّجاه القوة المؤثّرة في شحنة الاختبار الموجبة ( $q_0$ )؛ أي مبتعداً عن الشحنة الموجبة، ومقرباً من الشحنة السالبة.

ولحساب شدة المجال الكهربائي الناشئ عن عدد من الشحنات الكهربائيّة عند نقطة في مجالها المشترك نفترض أولاً وجود وحدة الشحنات الموجبة عند هذه النقطة، ثم نحسب شدة المجال الكهربائي عند النقطة لكلّ شحنة، فتكون شدة المجال الكلي الناتج تساوي محصّلة مجالات الشحنات عند تلك النقطة؛ لأنّ المجال الكهربائي كمية متّجهة؛ أي أنّ:

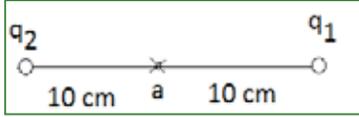
$$\vec{E}_1 = \vec{E}_{21} + \vec{E}_{31} + \vec{E}_{41} + \dots \quad (9-3)$$

**مثال (2):** شحنتان كهربائيتان موجبتان مقدارهما  $(1 \mu\text{C})$ ،  $(4 \mu\text{C})$ ، موضوعتان في الهواء والمسافة

بينهما  $(20 \text{ cm})$ ، احسب:



1- شدة المجال الكهربائي عند منتصف المسافة بينهما.



2- القوة المؤثرة في شحنة مقدارها  $(1 \times 10^{-9} \text{ C})$  موضوعة في منتصف المسافة بينهما.

الحل:

$$1) \vec{E}_a = \vec{E}_{1a} + \vec{E}_{2a}$$

$$E_{1a} = 9 \times 10^9 \times \frac{q_1}{r_1^2} = 9 \times 10^9 \times 1 \times 10^{-6} / (0.1)^2 = 9 \times 10^5 \text{ N/C} \text{ باتجاه } (-x)$$

$$E_{2a} = 9 \times 10^9 \times \frac{q_2}{r_2^2} = 9 \times 10^9 \times 4 \times 10^{-6} / (0.1)^2 = 36 \times 10^5 \text{ N/C} \text{ باتجاه } (+x)$$

$$E_a = 36 \times 10^5 - 9 \times 10^5 = 27 \times 10^5 \text{ N/C} \text{ باتجاه } (+x)$$

$$2) \vec{F} = q_0 \vec{E} = 1 \times 10^{-9} \times 27 \times 10^5 = 27 \times 10^{-4} \text{ N} \text{ باتجاه المجال } (+x)$$

## 2-9 خطوط المجال الكهربائي: Electric Field Lines

يمكن تمثيل المجال الكهربائي بخطوط تُسمى خطوط المجال الكهربائي، وتدل على المسار الذي تسلكه شحنة الاختبار الموجبة عند تحركها في المجال بتأثير قوة المجال، ولخطوط المجال الكهربائي الخصائص الآتية:

يدل اتجاه المماس لخط المجال الكهربائي عند أية نقطة على اتجاه المجال الكهربائي عند تلك النقطة، وتكون خارجة من الشحنة الموجبة وداخلة إلى السالبة، ويتناسب عددها مع مقدار الشحنة.

تناسب كثافة خطوط المجال الكهربائي طردياً مع شدة المجال الكهربائي (كثافة الخطوط: عدد خطوط المجال الكهربائي التي يقطع وحدة المساحة العمودية على اتجاهها).

ويبين الشكل (1-9) خطوط المجال الكهربائي لبعض الشحنات الكهربائيّة.





**مثال (5):** يتحرك إلكترون بين لوحين فلزيين مشحونين بشحنتين متساويتين مقداراً، ومختلفتين نوعاً من السكون بين نقطتين المسافة بينهما (1 cm)، إذا كانت شدة المجال الكهربائي بينهما ( $1 \times 10^4 \text{ N/C}$ )، فاحسب:

(١) القوة التي يؤثر فيها المجال الكهربائي في الإلكترون، علماً بأن كتلة الإلكترون تساوي ( $9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$ )، وشحنته ( $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ ).

(٢) السرعة النهائية للإلكترون بعد قطعه تلك المسافة.

الحل:

$$1: \vec{F} = q_0 E = 1.6 \times 10^{-19} \times 1 \times 10^4 = 1.6 \times 10^{-15} \text{ N} \quad (\text{بعكس اتجاه المجال})$$

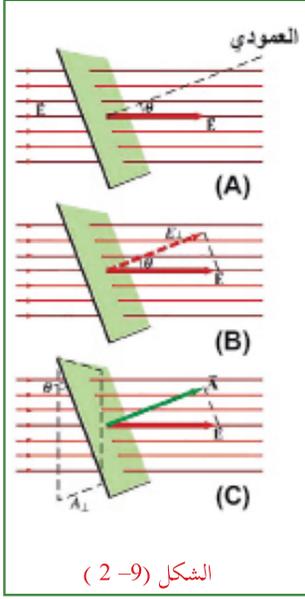
$$2: \vec{a} = \frac{F}{m} = 1.6 \times 10^{-15} / (9.11 \times 10^{-31}) = 1.8 \times 10^{15} \text{ m/s}^2$$

$$v^2 = v_0^2 + 2 a x = 0 + 2 (1.8 \times 10^{15}) (0.01) = 36 \times 10^{12} \rightarrow v = 6 \times 10^6 \text{ m/s}$$

### (5-9) التدفق الكهربائي وقانون جاوس Electric Flux & Gauss's Law

تعرفت سابقاً إلى كيفية حساب شدة المجال الكهربائي عند نقطة معينة في مجال شحنات نقطية، ولكن كيف يمكن حسابها في مجال موصل مشحون؟ لقد توصل (جاوس) إلى قانون يُعرف باسمه، يصف العلاقة بين توزيع الشحنة الكهربائيّة على الأجسام والمجال الكهربائي الناتج عنها. ويتضمّن هذا القانون مفهوم التدفق الكهربائي الذي يشير إلى عدد خطوط المجال الكهربائي المارة بشكل عمودي خلال مساحةٍ ما. ويُحسب التدفق الكهربائي ( $\Phi$ ) لمجال كهربائي منتظم شدته ( $E$ ) يمر خلال مساحة ( $A$ ) كما في الشكل (9-2 - A) رياضياً بالعلاقة:

$$\phi = \vec{E} \cdot \vec{A} = E A \cos \theta \quad (9-5)$$



حيث:

$E$ : شدة المجال الكهربائي.

$A$ : متجه المساحة، وهو متجه مقداره يساوي مساحة السطح واتجاهه عمودي على السطح للخارج خصوصاً إذا كان السطح مغلقاً.

$\theta$ : الزاوية المحصورة بين اتجاه شدة المجال الكهربائي والعمودي على المساحة. ويمكن للتدفق أن يُكتب بطريقة مكافئة:

$$\phi = E_{\perp} A = E A_{\perp}$$

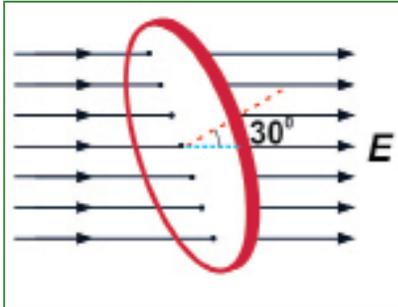
حيث:

$E_{\perp}$ : مركبة شدة المجال الكهربائي باتجاه العمودي على المساحة

$(E \cos \theta)$  كما في الشكل (9-2 - B)

$A_{\perp}$ : مركبة متجه المساحة باتجاه شدة المجال الكهربائي  $(A \cos \theta)$  شكل (9-2 - C)

ومن العلاقة السابقة (9-5) يمكن ملاحظة أن التدفق يكون موجباً إذا كانت خطوط المجال خارجة من السطح، وسالباً إذا كانت خطوط المجال داخلته فيه، وصفرأ إذا كانت خطوط المجال موازية للسطح.



**مثال (6):** يبين الشكل المجاور قرصاً دائرياً نصف قطره (10 cm)، موضوع في مجال كهربائي منتظم شدته

$(2 \times 10^3 \text{ N/C})$  ، بحيث تصنع خطوط المجال الكهربائي زاوية مقدارها  $30^\circ$  مع متجه المساحة (A). احسب:

1: التدفق الكهربائي عبر القرص الدائري.

2: التدفق الكهربائي عبر القرص الدائري عندما يدور القرص؛

بحيث تصبح خطوط المجال موازية لمستوى القرص.

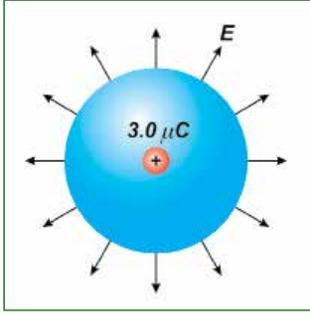
3: التدفق الكهربائي عبر القرص الدائري؛ بحيث تصبح خطوط المجال عمودية على مستوى القرص.

الحل:

$$1: \phi = E A \cos \theta = 2 \times 10^3 \times (0.1)^2 \times 3.14 \times \cos 30^\circ = 54 \text{ N m}^2/\text{C}$$

$$2: \phi = E A \cos \theta = 2 \times 10^3 \times (0.1)^2 \times 3.14 \times \cos 90^\circ = 0$$

$$3: \phi = E A \cos \theta = 2 \times 10^3 \times (0.1)^2 \times 3.14 \times \cos 0^\circ = 63 \text{ N m}^2/\text{C}$$



**مثال (7):** يبيّن الشكل المجاور شحنة نقطية موجبة مقدارها  $(3 \mu\text{C})$ ، موضوعة في مركز كرة نصف قطرها  $(20 \text{ cm})$  في الهواء. ما التدفق الكهربائي عبر سطح الكرة؟

الحل:

لإيجاد شدة المجال الناتج عن الشحنة النقطية عند سطح الكرة، فإنّ:

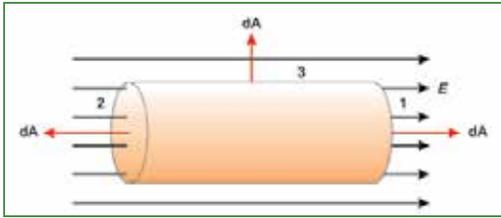
$$E = 9 \times 10^9 \times \frac{q}{r^2} = 9 \times 10^9 \times 3 \times 10^{-6} / (0.2)^2 = 6.75 \times 10^5 \text{ N/C}$$

وبما أنّ خطوط مجال الشحنة النقطية تكون عمودية على السطح، فإنّ  $(\theta = 0)$  (صفرًا):

$$\phi = E A \cos \theta = 6.75 \times 10^5 \times 4 \times 3.14 \times (0.2)^2 \cos 0 = 3.4 \times 10^5 \text{ N m}^2/\text{C}$$

## سؤال

هل يتغيّر التدفق الكهربائي إذا كان نصف قطر الكرة  $(10 \text{ cm})$ ؟ فسّر ذلك.



**مثال (8):** يبيّن الشكل المجاور أسطوانة طولها  $(L)$ ، ونصف قطر قاعدتها  $(r)$ ، موضوعة في مجال كهربائي منتظم شدته  $(E)$  في اتجاه يوازي محور الأسطوانة. ما التدفق الكلي خلال سطح الأسطوانة؟

الحل:

$$\begin{aligned} \phi &= \phi_1 + \phi_2 + \phi_3 = E A_1 \cos 0 + E A_2 \cos 180^\circ + E A_3 \cos 90^\circ \\ &= E A - E A + 0 = 0 \end{aligned}$$

لاحظ أنّ التدفق الكلي عبر هذا السطح المغلق يساوي صفرًا؛ لأنّ عدد خطوط المجال التي دخلت إليه يساوي عدد خطوط المجال التي خرجت منه. وتلاحظ في هذا المثال، أنّه لا توجد شحنات داخل السطح المغلق، فهل لذلك علاقة بالنتيجة التي حصلت عليها؟ وهل تتغيّر نتيجة المثال لو وجدت شحنات سالبة، أو موجبة داخل هذا السطح المغلق؟

بشكل عام، إذا وجدت مجموعة من الشحنات النقطية داخل السطح المغلق في الفراغ أو الهواء، يكون

$$\phi_T = \frac{\sum Q}{\epsilon_0}$$

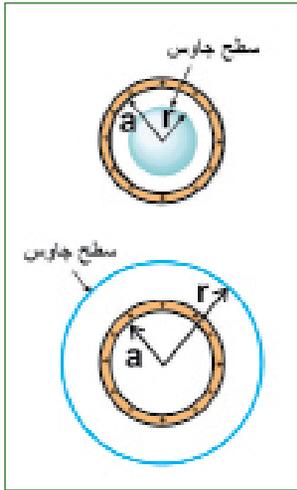
حيث:

$\phi_T$ : التدفق الكهربائي الكلي عبر سطح مغلق.

$\sum Q$ : المجموع الجبري للشحنات الكهربائية الموجودة داخل السطح المغلق.

وتُعرف هذه النتيجة بقانون جاوس، وينصّ على أنّ التدفق الكهربائي عبر أيّ سطح مغلق يساوي مقدار الشحنة الكلية المحصورة داخل ذلك السطح مقسوماً على السماحية الكهربائيّة للوسط.

من السهل استخدام هذا القانون لحساب المجال الكهربائي لحالات يكون فيها توزيع الشحنات الكهربائيّة على درجة عالية من التماثل، مثل كرات مشحونة بشحنة منتظمة التوزيع، أو أسطوانات طويلة، أو أسطوح مستوية ذات أبعاد كبيرة جداً. وفي كلّ الحالات يتم اختيار سطح جاوسي افتراضي بحيث يكون له التماثل نفسه لتوزيع الشحنات الكهربائيّة، وتكون شدة المجال (E) ثابتة على السطح كلّها، أو أجزاء منه، ويحتوي على شحنة داخله، ثم نطبّق قانون جاوس في الحل.



**مثال (9):** موصل كروي نصف قطره (a) يحمل شحنة كهربائية q، احسب شدة المجال الكهربائي على بعد (r) عن مركز الموصل، إذا كانت:

$$a < r \quad (3) \quad a = r \quad (2) \quad a > r \quad (1)$$

الحل:

إن أنسب سطح جاوس مغلق هو سطح كرة نصف قطرها (r)، ومركزها مركز الموصل.

(1)  $a > r$ ، وعلى اعتبار أن  $(A_2)$  هي سطح جاوس، فإنّ:

$$\Phi_T = \vec{E} \cdot \vec{A} = \sum Q / \epsilon_0 = 0 \quad / \quad \epsilon_0 = 0$$

$$\vec{E} = 0$$

(2)  $a = r$ ، الكرة نفسها سطح جاوس، فإنّ:

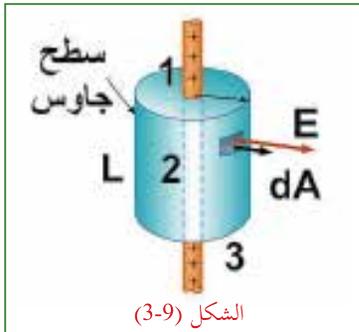
$$\vec{E} \cdot \vec{A} = \sum Q / \epsilon_0 \rightarrow E A \cos 0 = q / \epsilon_0 \rightarrow E (4 \pi) a^2 = q / \epsilon_0$$

$$E = q / (4 \pi \epsilon_0) a^2$$

(3)  $a < r$ ، وعلى اعتبار أن  $(A_1)$  هي سطح جاوس، فإنّ:

$$\vec{E} \cdot \vec{A} = \sum Q / \epsilon_0 \rightarrow E A \cos 0 = q / \epsilon_0 \rightarrow E (4 \pi) r^2 = q / \epsilon_0$$

$$E = q / (4 \pi \epsilon_0) r^2$$



الشكل (3-9)

**مثال (10):** سلك مستقيم لا نهائي الطول، ومشحون بشحنة موجبة موزعة بانتظام على طوله وبكثافة طولية  $(\lambda)$ ، علماً بأنّ  $(\lambda)$  هي الشحنة لوحدة الأطوال. جد شدة المجال الكهربائي عند نقطة تبعد عن محور السلك مسافة (r).

الحل:

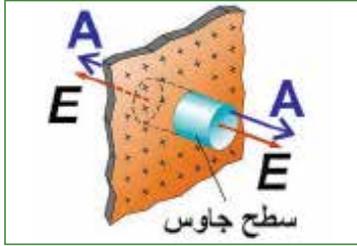
نختار سطح (جاوس) أسطوانة نصف قطرها (r) وطولها (L)، بحيث ينطبق محورها على محور السلك، كما في الشكل (3-9).

إنَّ شدة المجال الكهربائي عند أيّة نقطة على السطح الجانبي لسطح جاوس تكون ثابتة في المقدار، واتّجاهها يكون عمودياً على المساحة (موازية لمتجه المساحة). وتطبيق قانون جاوس:

$$\Phi_T = \vec{E} \cdot \vec{A} = \sum Q/\epsilon_0$$

$$\begin{aligned} \Phi &= \Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 = E A_1 \cos 90^\circ + E A_2 \cos 0^\circ + E A_3 \cos 90^\circ \\ &= 0 + E (2 \pi r L) + 0 = \sum Q/\epsilon_0 \\ \Rightarrow E (2 \pi r L) &= \lambda L / \epsilon_0 \Rightarrow E = \lambda / (2 \pi \epsilon_0 r) \end{aligned}$$

**مثال (11):** صفيحة رقيقة من مادة عازلة مستوية وواسعة جداً، مشحونة بشحنة موجبة موزّعة بانتظام على مساحة الصفيحة، وبكثافة سطحية  $(\sigma)$ ، حيث  $\sigma$ : الشحنة لكل وحدة مساحة. جد شدة المجال الكهربائي عند نقطة تبعد عن الصفيحة مسافة  $(r)$ .



الحل:

نرسم سطح جاوس على شكل أسطوانة تخترق الصفيحة ومحورها يتعامد معها، وتقع النقطة المراد حساب شدة المجال عندها على قاعدتها؛ أي أنّ ارتفاع الأسطوانة  $(2r)$ ، كما في الشكل المجاور.

وتلاحظ أنّ سطح الأسطوانة الجانبي لا يسهم في التدفق؛ إذ إنّ خطوط المجال لا تخترقه، بل تعامد متجه المساحة عنده. غير أنّ خطوط المجال تخترق قاعدتي الأسطوانة بشكل عمودي على كلّ منهما، وتطبيق قانون جاوس، نجد أنّ:

$$\Phi = \vec{E} \cdot \vec{A} = \sum Q/\epsilon_0$$

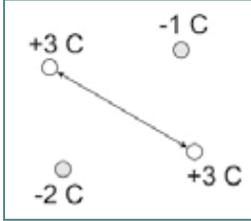
$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 = E A_1 \cos 0 + E A_2 \cos 0 + E A_3 \cos 90 = Q/\epsilon_0$$

$$E A + E A + 0 = Q/\epsilon_0 \Rightarrow 2 E A = Q/\epsilon_0 \Rightarrow E = \frac{Q}{2 A \epsilon_0} = \frac{\sigma A}{2 A \epsilon_0} = \frac{\sigma}{2 \epsilon_0}$$

سؤال

هل تعتمد شدة المجال عند أيّة نقطة بالقرب من الصفيحة على بُعد النقطة عن الصفيحة؟ فسّر إجابتك.

اختر الإجابة الصحيحة فيما يأتي:



(أ) يبيّن الشكل المجاور أربع شحنات نقطيّة، موضوعة على رؤوس مربع طول ضلعه  $(\sqrt{2} \text{ m})$ . إنّ شدة المجال في مركز المربع هي:

- (أ)  $(9 \times 10^9 \text{ N/C})$  باتجاه يصنع زاوية  $45^\circ$  فوق المحور السيني الموجب (+x).  
 (ب)  $(9 \times 10^9 \text{ N/C})$  باتجاه يصنع زاوية  $45^\circ$  أسفل المحور السيني السالب (-x).  
 (ج)  $(27 \times 10^9 \text{ N/C})$  باتجاه يصنع زاوية  $45^\circ$  فوق المحور السيني السالب (-x).  
 (د)  $(27 \times 10^9 \text{ N/C})$  باتجاه يصنع زاوية  $45^\circ$  أسفل المحور السيني الموجب (+x).

(2) نستنتج من قانون جاوس أنّه:

(أ) إذا كانت الشحنة الكلية داخل سطح كروي تساوي صفراً، فإن شدة المجال الكهربائي داخل السطح الكروي لا تساوي صفراً.

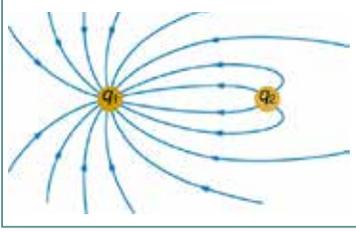
(ب) إذا كان التدفق الكهربائي خلال سطح كروي يساوي صفراً، فإن السطح الكروي لا يحتوي في داخله أيّة شحنة كهربائية.

(ج) إذا كان التدفق الكهربائي خلال سطح كروي يساوي صفراً، فإن الشحنة الكلية داخل السطح الكروي تساوي صفراً.

(د) لا توجد قوة بين الشحنات.

(3) كرة فلزيّة سميكة وجوفاء، نصف قطرها الداخلي (9 cm)، ونصف قطرها الخارجي (10 cm) ومشحونة بشحنة موجبة مقدارها  $(10 \times 10^{-6} \text{ C})$ . إذا احتوت في مركزها على شحنة نقطيّة موجبة مقدارها  $(5 \times 10^{-6} \text{ C})$ ، فإنّ مقدار شدة المجال الكهربائي في نقطة تبعد عن المركز (20 cm) بوحدة N/C يساوي :

- (أ)  $11.11 \times 10^6$  (ب)  $1.125 \times 10^6$  (ج)  $3.375 \times 10^6$  (د)  $2.25 \times 10^6$



4) يبيّن الشكل المجاور خطوط المجال الكهربائي لشحنتين نقطيتين. العبارة الصحيحة التي تبيّن اتجاه خطوط المجال، ومقدار الشحنتان، ونوعها هي:

أ)  $q_1$  سالبة،  $q_2$  موجبة.

ب)  $q_1$  أقل من  $q_2$  من حيث المقدار.

ج) مقدار شدة المجال الكهربائي متساوٍ في جميع النقاط المحيطة بالشحنتين.

د) إن أكبر مقدار لشدة المجال الكهربائي عند منتصف المسافة بين الشحنتين.

5) يتحرك جسيم كتلته  $(6.7 \times 10^{-27} \text{ kg})$ ، وشحنته  $(3.2 \times 10^{-19} \text{ C})$  بسرعة مقدارها

$(4.8 \times 10^5 \text{ m/s})$  باتجاه المحور السيني الموجب. إذا دخل منطقة مجال كهربائي منتظم اتجاهه بموازاة المحور السيني، فتوقف الجسيم بعد قطعه مسافة  $(2 \text{ m})$  في المجال. ما مقدار شدة المجال الكهربائي بوحدة  $\text{N/C}$ ؟

أ)  $2 \times 10^3$  ب)  $1.5 \times 10^3$  ج)  $1.2 \times 10^3$  د)  $3.5 \times 10^3$

2

شحنتان نقطيتان مقدارهما  $(1 \times 10^{-9} \text{ C}$  ،  $-4 \times 10^{-9} \text{ C})$  كولوم، والمسافة بينهما  $(12 \text{ cm})$ . احسب:

أ) شدة المجال الكهربائي عند منتصف المسافة بينهما.

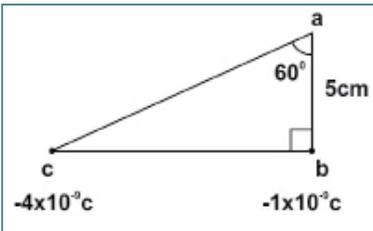
ب) القوة الكهربائيّة المؤثرة في شحنة نقطية سالبة مقدارها  $(1 \times 10^{-12} \text{ C})$  موضوعة عند منتصف المسافة بينهما.

ج) شدة المجال الكهربائي في نقطة تبعد  $(12 \text{ cm})$  عن الشحنة الأولى، و  $(24 \text{ cm})$

عن الشحنة الثانية، وعلى امتداد الخط الواصل بينهما.

3

معتمداً على القيم المبينة في الشكل المجاور، أوجد شدة المجال الكهربائي في النقطة (a).



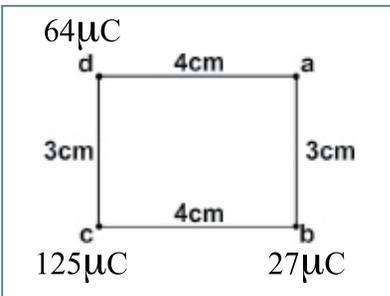
4

معتمداً على القيم المبينة في الشكل المجاور، جد:

أ) شدة المجال الكهربائي في النقطة (a).

ب) مقدار واتجاه القوة المؤثرة في شحنة نقطية موجبة مقدارها

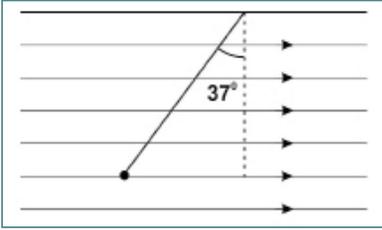
$(30 \times 10^{-6} \text{ C})$  عند وضعها في النقطة (a).



5 شحنتان نقطيتان موضوعتان في الهواء عند نقطتين المسافة بينهما (10 cm)، جد موضع نقطة التعادل في الحالات الآتية:

أ)  $+ 4 \mu C = q_2$  ،  $- 9 \mu C = q_1$

ب)  $+ 4 \mu C = q_2$  ،  $+ 9 \mu C = q_1$



6 علقت كرة مشحونة كتلتها (10 mg) في مجال كهربائي منتظم شدته  $(3 \times 10^3 \text{ N/C})$ ، فانحرف الخيط عن الوضع الرأسي بزاوية  $(37^\circ)$  كما في الشكل المجاور . ما مقدار شحنة الكرة؟ وما نوعها؟

7 موصل أسطواني أجوف لا نهائي نصف قطرة (5 cm)، مشحون بشحنة موزَّعة عليه بانتظام، فإذا كانت كثافة

الشحنة الطولية عليه  $(\lambda)$  تساوي  $(5 \times 10^{-10} \text{ C/m})$ . احسب:

أ) شدة المجال الكهربائي على بُعد (2 cm) عن محور الأسطوانة.

ب) شدة المجال الكهربائي على سطح الأسطوانة.

ج) شدة المجال الكهربائي على بُعد (10 cm) عن محور الأسطوانة.

## الجهد الكهربائي (Electric Potential)

تعرفتَ في الوحدة السابق إلى أنّ الشحنات الكهربائيّة تولّد مجالاً كهربائياً في الحيز المحيط بها، يُعبّر عنه من خلال القوة المؤثرة في شحنة اختبار موضوعة في هذا الحيز. وتعلمتَ سابقاً أنّ القوى تبذل شغلاً ميكانيكياً فتغيّر طاقة الجسم. ولكن، كيف يتولّد عن المجال الكهربائي جهداً كهربائياً وطاقة وضع كهربائيّة؟ وما المقصود بالجهد الكهربائي؟ وعلى ماذا يعتمد الجهد الكهربائيّ لموصلٍ مشحون؟ وما العلاقة بين الجهد الكهربائي في نقطةٍ ما والمجال الكهربائي في تلك النقطة؟ وما الشغل اللازم لتحريك شحنة كهربائية بين نقطتين في المجال الكهربائي؟ هذه الأسئلة وغيرها سوف تستطيع الإجابة عنها بعد دراستك هذه الوحدة المتمازجة، ويُتوقّع منك أن تكون قادراً على أن:

- ◆ توضّح المقصود بكلّ من: طاقة الوضع الكهربائيّة، والجهد الكهربائي.
- ◆ تحسب الجهد الكهربائي الناشئ عن شحنات نقطيّة وعن كراتٍ فلزيّة مشحونة.
- ◆ تحسب فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين في مجالٍ كهربائيّ منتظم.
- ◆ ترسم سطوح تساوي الجهد لتوزيع من الشحنات.

## (10-1) طاقة الوضع وفرق الجهد الكهربائيين E.Potential Energy & E.Potential

ويُسمَّى التغيُّر في طاقة الوضع الكهربائيَّة لوحدة الشحنات الموجبة عند انتقالها بين نقطتين في المجال الكهربائي فرقَ الجهد الكهربائي بين النقطتين، ويساوي التغيُّر في طاقة الوضع الكهربائيَّة للشحنة مقسوماً على مقدار الشحنة؛ أي أن:

$$\Delta V = \frac{\Delta U}{q_0} \quad (10-1)$$

ومن العلاقة (1) نجد أن الجهد الكهربائي كمية قياسية؛ لأنه ناتج عن قسمة كميتين غير متجهتين هما: طاقة الوضع (الشغل) والشحنة. ويقاس في النظام العالمي للوحدات بوحدة (جول/كولوم)، وتُدعى هذه الوحدة بالفولت. ويعرّف الفولت بفرق الجهد بين نقطتين، تكون المقاومة الكهربائيَّة بينهما 1 اوم، ويسري تيار كهربائي مقداره 1 امبير.

### سؤال

عرّف الفولت من المعادلة (10-1).

وبما أن شغل القوة الخارجيَّة ( $W_{\text{ext}}$ ) يساوي التغيُّر في طاقة الوضع في الأنظمة المحافظة؛ فإن:

$$W_{\text{ext } a \rightarrow b} = + \Delta U = U_b - U_a \quad (10-2)$$

$$\frac{W_{\text{ext } a \rightarrow b}}{q_0} = \frac{U_b - U_a}{q_0} = \frac{U_b}{q_0} - \frac{U_a}{q_0} \Rightarrow V_{ba} = V_b - V_a = \Delta V$$

وبالتالي فإن:

$$W_{\text{ext } a \rightarrow b} = q V_{ba} \quad (10-3)$$

حيث ( $V_b$ ) الجهد الكهربائي للنقطة b، و ( $V_a$ ) الجهد الكهربائي للنقطة a. فإذا تحرّرت الشحنة من القوة الخارجية تعود إلى موقعها عند النقطة (a) بفعل القوة الكهربائيَّة؛ إذ تحرّر طاقة الوضع الكهربائيَّة المخزّنة فيها على شكل طاقة حركيَّة، تماماً كما تسقط الكرة من ارتفاعٍ معيّن نحو الأرض بفعل الجاذبيَّة.

وعلى نحو عام، فالجهد الكهربائي عند نقطة مقيساً بالنسبة إلى جهد يساوي صفراً في الما لانهاية، يُعرف بأنه الشغل المبذول من قبل قوة خارجية لنقل وحدة الشحنات الموجبة من ما لانهاية إلى تلك النقطة بسرعة ثابتة. وتُحسب طاقة الوضع الكهربائيَّة من العلاقة الآتية:

$$U_b = q V_b \quad (10-4)$$

**مثال(1):** شحنة كهربائية نقطية مقدارها (  $3.2 \times 10^{-19} \text{ C}$  )، موضوعة عند النقطة (a) التي جهدها (10 V)،  
جد ما يأتي:

- 1- طاقة الوضع الكهربائية للشحنة في النقطة (a).
- 2- الشغل اللازم لنقل الشحنة من موقعها عند النقطة (a) إلى النقطة (b) التي جهدها (20 V).
- 3- التغير في طاقة وضع الشحنة عند نقلها من (a) إلى (b).

الحل:

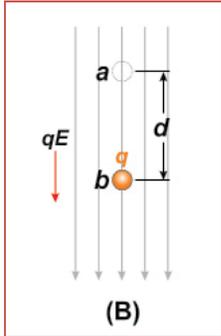
$$1: U_a = q V_a = 3.2 \times 10^{-19} \times 10 = 32 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$2: W_{\text{ext}} a \rightarrow b = q V_{ba} = q (V_b - V_a) = 3.2 \times 10^{-19} (20 - 10) = 32 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$3: \Delta U = U_b - U_a = q V_b - q V_a = q (V_b - V_a) = q V_{ba}$$

$$= 3.2 \times 10^{-19} (20 - 10) = 32 \times 10^{-19} \text{ J}$$

### (10-2) فرق الجهد بين نقطتين في مجال كهربائي منتظم E.Potential & E.Field:



إذا وُضعت شحنة كهربائية موجبة (q) في مجال كهربائي منتظم، كما في الشكل المجاور، فإنها تتحرك إزاحة (d) مع اتجاه المجال بفعل القوة الكهربائية التي تنجز شغلاً موجباً؛ لأنّ اتجاه قوة المجال يكون باتجاه الإزاحة. وبما أنّ قوة المجال الكهربائيّ قوة محافظة، فإنّ:

$$W_{\text{field}} a \rightarrow b = -\Delta U = -(U_b - U_a) = U_a - U_b = q V_a - q V_b = q (V_a - V_b)$$

$$W_{\text{field}} a \rightarrow b = q V_{ab} \quad (10-5)$$

وبما أنّ الشحنة موجبة، فإنّ (  $U_a > U_b$  ) ، والنقص في طاقة الوضع الكهربائيّة يظهر على شكل زيادة في الطاقة الحركيّة للشحنة، أي أنّ:

$$W_{\text{field}} a \rightarrow b = +\Delta KE = (KE_b - KE_a)$$

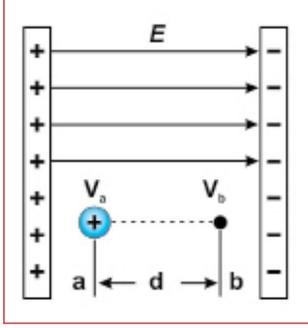
وبما أنّ الشغل موجب، فإنّ (  $KE_b > KE_a$  )

$$W_{\text{field}} a \rightarrow b = \vec{F}_{\text{field}} \cdot \vec{d} = q \vec{E} \cdot \vec{d} = q E d_{ab} \cos \theta_{ab} = q V_{ab}$$

ومن هنا نجد أنّ:

$$V_{ab} = E d_{ab} \cos \theta_{ab} \quad (10-6)$$

حيث  $\theta_{ab}$ : الزاوية بين اتجاه المجال (E) والإزاحة (  $d_{ab}$  ).



**مثال (2):** تحرك بروتون شحنته  $(1.6 \times 10^{-19} \text{ C})$ ، وكتلته  $(1.67 \times 10^{-27} \text{ kg})$

من السكون من النقطة (a) إلى النقطة (b)، وتفصل بينهما مسافة  $(50 \text{ cm})$  في مجال كهربائي منتظم شدته  $(8 \times 10^4 \text{ V/m})$  كما في الشكل، جد ما يأتي:

(1) فرق الجهد الكهربائي بين النقطتين a، b  $(V_{ba})$ .

(2) الشغل الذي تبذله قوة المجال في نقل البروتون من النقطة (a) إلى النقطة (b).

(3) التغيير في طاقة وضع البروتون عند انتقاله من النقطة (a) إلى النقطة (b).

(4) سرعة البروتون في النقطة (b).

(5) الشغل الذي تبذله قوة خارجيّة في نقل الشحنة من (b) إلى (a) بسرعة ثابتة.

الحل:

$$1: V_{ba} = E d_{ba} \cos\theta_{ba} = 8 \times 10^4 \times 50 \times 10^{-2} \times \cos 180 = -4 \times 10^4 \text{ V.}$$

$$2: W_{\text{field } a \rightarrow b} = F_{\text{field}} \cdot d = q E d \cos 0 = 1.6 \times 10^{-19} \times 8 \times 10^4 \times 50 \times 10^{-2} \times 1 = 6.4 \times 10^{-15} \text{ J}$$

ويمكن الحل باستخدام المعادلة (5-10)، يبين ذلك.

$$3: \Delta U = U_b - U_a = q V_b - q V_a = q (V_b - V_a) = q V_{ba}$$

$$= 1.6 \times 10^{-19} \times (-4 \times 10^4) = -6.4 \times 10^{-15} \text{ J}$$

بما أنّ قوة المجال قوة محافظة، فإنّه يمكن استخدام مبدأ حفظ الطاقة الميكانيكيّة؛ أي أنّ:

$$4: U_a + KE_a = U_b + KE_b$$

$$U_a + 0 = U_b + KE_b$$

$$KE_b = U_a - U_b = q V_a - q V_b = q (V_a - V_b) = q V_{ab}$$

$$= 1.6 \times 10^{-19} \times (4 \times 10^4) = 6.4 \times 10^{-15} \text{ J}$$

$$\frac{1}{2} m v_b^2 = 6.4 \times 10^{-15} = \frac{1}{2} \times 1.67 \times 10^{-27} v_b^2 \Rightarrow v_b = 2.77 \times 10^6 \text{ m/s}$$

استخدم نظرية الشغل والطاقة لحساب سرعة البروتون.

$$5: W_{\text{ext } b \rightarrow a} = + \Delta U = q V_{ab} = 1.6 \times 10^{-19} \times 4 \times 10^4 = 6.4 \times 10^{-15} \text{ J}$$

الإلكترون فولت: الطاقة الحركية التي يكتسبها الإلكترون عندما يتسارع بين نقطتين فرق الجهد بينهما فولت واحد.

### (3-10) الجهد الكهربائي الناشئ عن شحنات نقطية Electric Potential due to Point charges:

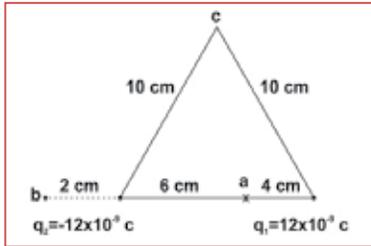
عرفت أنّ خطوط المجال الكهربائي للشحنة النقطية تنتشر في الفضاء المحيط بالشحنة، وإذا كان المجال الكهربائي ناشئاً عن شحنة نقطية، فإنّ الجهد الكهربائي عند النقطة (a) والناتج عن الشحنة النقطية (q) الموضوع في الفراغ أو الهواء يُعطى بالعلاقة الآتية:

$$V_a = 9 \times 10^9 \times \frac{q}{r} \quad (10-7)$$

وكما تعلم فالجهد كمية قياسية؛ لذا نعوض الشحنة بإشارتها سواء أكانت موجبة أم سالبة عند استخدام هذه العلاقة. وإذا كانت النقطة (a) المراد حساب الجهد عندها، واقعة بالقرب من شحنات نقطية أخرى، فإنّ جهدها الكهربائي هو المجموع الجبري للجهود الناتجة عن كلّ من هذه الشحنات؛ أي أنّ:

$$V_a = V_{q1} + V_{q2} + V_{q3} + \dots$$

$$V_a = 9 \times 10^9 \left( \frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2} + \frac{q_3}{r_3} \right) \quad (10-8)$$



**مثال (3):** يبيّن الشكل المجاور شحنتين نقطيتين ( $q_1, q_2$ ) موضوعتين في الهواء، والمسافة بينهما (10 cm).

(1) ما مقدار الجهد الكهربائي في النقط (a, b, c)؟

(2) ما الشغل اللازم لنقل شحنة مقدارها ( $5 \mu\text{C}$ ) من c إلى a.

الحل:

$$1: V_a = 9 \times 10^9 \left( \frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2} \right) = 9 \times 10^9 \left( \frac{12 \times 10^{-9}}{0.04} + \frac{-12 \times 10^{-9}}{0.06} \right)$$

$$= 9 (300 - 200) = 900 \text{ V}$$

$$V_b = 9 \times 10^9 \left( \frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2} \right) = 9 \times 10^9 \left( \frac{12 \times 10^{-9}}{0.12} + \frac{-12 \times 10^{-9}}{0.02} \right)$$

$$= 9 (100 - 600) = -4500 \text{ V}$$

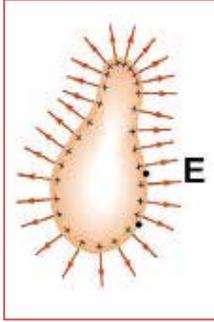
$$V_c = 9 \times 10^9 \left( \frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2} \right) = 9 \times 10^9 \left( \frac{12 \times 10^{-9}}{0.1} + \frac{-12 \times 10^{-9}}{0.1} \right)$$

$$= 9 (120 - 120) = 0$$

$$2: W_{\text{ext } c \rightarrow a} = q (V_a - V_c) = 5 \times 10^{-6} (900 - 0) = 4500 \times 10^{-6} \text{ J}$$

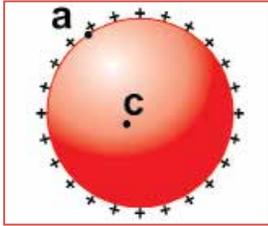
## (4-10) الجهد الكهربائي لموصل كروي مشحون E.Potential Of Charged Sphere

تعرفت سابقاً أنّ شدة المجال الكهربائي داخل الموصل المشحون تساوي صفراً، وأنّ الشحنات تتوزّع على السطح الخارجي وتستقرّ عندما يتساوى الجهد الكهربائي في جميع النقاط على السطح. أمّا عند نقطة خارجه قريبة من سطح الموصل، فتكون شدة المجال  $\frac{\sigma}{\epsilon_0}$  واتّجاهه عمودياً على سطح الموصل؛ لأنّه لو وجدت لشدة المجال مركّبة أفقية عند سطح الموصل، فإنّها ستسبب حركة للشحنات، وهو ما يتعارض مع حقيقة كون الشحنات مستقرة (ساكنة) على السطح.



ويبيّن الشكل أنّ توزيع الشحنات على سطح الموصل غير منتظم؛ لأن السطح غير منتظم، فالشحنات تتباعد عن بعضها قدر المتاح، وتكون الكثافة السطحية للشحنة عند الرؤوس المدبّبة أكبر ما يمكن. ويمكن الحصول على توزيع منتظم من الشحنات إذا قمنا بشحن موصل كروي، فالشحنات تتوزّع على سطحه الخارجي بانتظام؛ إذ إنّ سطحه منتظم.

هذا بالنسبة لشدة المجال، فماذا عن الجهد الكهربائي داخل الموصل الكروي المشحون؟ وما فرق الجهد بين النقطتين a، c في الشكل المجاور؟



بما أنّ شدة المجال الكهربائي داخل الموصل المشحون تساوي صفراً، فإنّ:

$$V_{ac} = E d_{ac} \cos\theta_{ac} = 0$$

$$V_a - V_c = 0$$

$$V_a = V_c$$

وهذا يعني أنّ الجهد عند أيّة نقطة داخل الموصل ثابت، ويساوي قيمته عند سطح الموصل.

مرّ بك أنّه يمكن النظر إلى الموصل الكروي المشحون كما لو أنّ الشحنة نقطية تتركز في مركزه؛ لذا يكون الجهد في الفراغ أو الهواء، والنتيجة عن هذه الشحنة داخل الموصل الكروي وعلى سطحه ثابتاً، ويُعطى بالعلاقة:

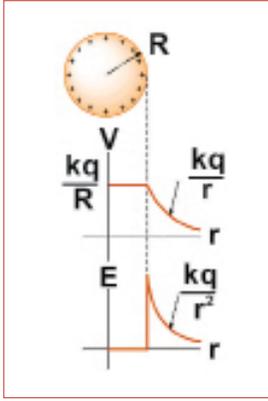
$$V = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \times \frac{q}{R} = 9 \times 10^9 \times \frac{q}{R} \quad (10-9)$$

حيث R : نصف قطر الموصل الكروي.

أمّا على بُعد (r) من مركز الموصل، حيث:  $R < r$ ، فإنّ الجهد الناتج عن الشحنة النقطية المتمركزة في مركز

$$V = 9 \times 10^9 \times \frac{q}{r}$$

ويبيّن الشكل المجاور رسماً بيانياً للمجال والجهد الناتج عن موصل كروي مشحون.



أما إذا وُجد موصل كروي مشحون بالقرب من موصل كروي آخر مشحون، فإنّ المجال الناشئ عن الشحنتان الموجودة على سطح أحد الموصلين تؤثر في الشحنتان الموجودة على السطح الآخر، والعكس صحيح؛ لذا يكون الجهد عند نقطة على سطح أحد الموصلين هو جهد مطلق من الشحنتان الموجودة على سطحه، وجهد حثي من الشحنتان الموجودة على السطح الآخر؛ أي أنّ:

$$V_1 = V_{1\text{مطلق}} + V_{2\text{حثي}} = 9 \times 10^9 \times \frac{q}{R} + 9 \times 10^9 \times \frac{q_2}{r_2} \quad (10-10)$$

**مثال(4):** كرتان نصف قطرَيْهما ( $R_1=2\text{ cm}, R_2=3\text{ cm}$ )، والمسافة بين مركزيهما ( $30\text{ cm}$ )، تحمل الأولى شحنة كهربائية مقدارها ( $10 \times 10^{-9}\text{ C}$ )، والثانية شحنة ( $-3 \times 10^{-9}\text{ C}$ )، احسب:

- 1: جهد نقطة تقع في منتصف المسافة بينهما.
- 2: الجهد الكلي لكلٍّ منهما.
- 3: مقدار الشحنة على الكرة الأولى بعد وصلها بالأرض.

الحل:

$$1) V = V_1 + V_2$$

$$V = 9 \times 10^9 \left( \frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2} \right) = 9 \times 10^9 \left( \frac{10 \times 10^{-9}}{0.15} + \frac{-3 \times 10^{-9}}{0.15} \right)$$

$$= 600 - 180 = 420\text{V}$$

$$2) V_1 = V_{1\text{مطلق}} + V_{1\text{حثي}} = 9 \times 10^9 \times \frac{q_1}{R_1} + 9 \times 10^9 \times \frac{q_2}{r_2}$$

$$= 9 \times 10^9 \times \frac{10 \times 10^{-9}}{0.02} + 9 \times 10^9 \times \frac{-3 \times 10^{-9}}{0.3} = 4500 - 90 = 4410\text{V}$$

$$V_2 = V_{2\text{مطلق}} + V_{2\text{حثي}} = 9 \times 10^9 \times \frac{q_2}{R_2} + 9 \times 10^9 \times \frac{q_1}{r_1}$$

$$= 9 \times 10^9 \times \frac{-3 \times 10^{-9}}{0.03} + 9 \times 10^9 \times \frac{10 \times 10^{-9}}{0.3} = -900 + 300 = -600\text{V}$$

$$3) V_1 = V_{1\text{مطلق}} + V_{2\text{حثي}}$$

$$0 = 9 \times 10^9 \times \frac{q_1}{0.02} + 9 \times 10^9 \times \frac{-3 \times 10^{-9}}{0.3}$$

$$0 = 450 \times 10^9 q_1 - 90$$

$$\Rightarrow q_1 = 0.2 \times 10^{-9}\text{ C}$$

1 اختر الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

- 1) إذا تحركت شحنة نقطية موجبة حرّة من السكون باتجاه خطوط المجال الكهربائي، فإنّها تنتقل إلى نقطة:
- (أ) أقلّ جهداً، وتقلّ طاقة الوضع الكهربائية للشحنة فيها.  
 (ب) أقلّ جهداً، وتزداد طاقة الوضع الكهربائية للشحنة فيها.  
 (ج) أعلى جهداً، وتقلّ طاقة الوضع الكهربائية للشحنة فيها.  
 (د) أعلى جهداً، وتزداد طاقة الوضع الكهربائيّة للشحنة فيها.

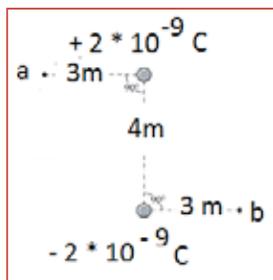
2) إنّ فرق الجهد بين النقطتين a، b ( $V_{ab}$ ) في الشكل المجاور يساوي (بوحدّة فولت):

(أ) 4.8 (ب) 6

(ج) 7.2 (د) 8.4

3) شحنت كرة فلزية نصف قطرها (20 cm) بشحنة موجبة مقدارها ( $3 \mu\text{C}$ ). إنّ مقدار الشغل المبذول في نقل شحنة نقطية موجبة مقدارها ( $25 \mu\text{C}$ ) من مالانهاية إلى مركز الكرة يساوي (بوحدّة جول J):

(أ) 2.7 (ب) 3.4 (ج) 4.3 (د) 5.4



4) كرة فلزية نصف قطرها (5 cm)، وتحمل شحنة موجبة موزّعة عليها بانتظام

مقدارها ( $0.25 \times 10^{-9}\text{C}$ )، النقطة (a) في مركز الكرة، والنقطة (b) تبعد (15 cm) من مركز الكرة. ما مقدار فرق الجهد بين النقطتين a، b (بوحدّة فولت V)؟

(أ) 15 (ب) 23 (ج) 30 (د) 45

5) الشغل اللازم لنقل شحنة نقطية موجبة مقدارها ( $6 \mu\text{C}$ ) من نقطة ما على سطح تساوي جهد (5 V) إلى نقطة أخرى على سطح تساوي جهد (6 V)، ثم إعادتها مرة أخرى إلى النقطة نفسها على سطح تساوي الجهد (5 V) يساوي (بوحدّة جول J):

(أ) صفراً (ب)  $3 \times 10^{-5}$  (ج)  $6 \times 10^{-5}$  (د)  $6 \times 10^{-6}$

2 فسّر ما يأتي :

- 1- نقطة قريبة من شحنات كهربائية عدّة وجهدها صفر.
- 2- شدة المجال الكهربائي داخل الموصل تساوي صفرًا.
- 3- لا يعني كون شدة المجال الكهربائي عند نقطة فيه تساوي صفرًا أنّ جهد هذه النقطة يساوي صفرًا.

3 كرة موصلة نصف قطرها (3 cm)، موضوعة في الهواء، وتحمل شحنة كهربائية سالبة مقدارها  $(5 \times 10^{-8} \text{ C})$ . احسب:

أ) جهد الكرة.

ب) فرق الجهد بين نقطتين تبعدان (10 cm)، عن مركز الكرة على الترتيب.

4 وُصل لوحان فلزيّان متوازيان إلى فرق جهد مقداره (6000 V)، والمسافة بينهما (2 cm). أجب عما يأتي:

أ) ما مقدار شدة المجال الكهربائي عند نقطة تقع في الحيّز بينهما؟

ب) ما مقدار الطاقة الحركية التي يكتسبها إلكترون يتسارع من السكون في الحيّز بين اللوحين.

ج) إذا قلّت المسافة بينهما إلى النصف مع بقاء فرق الجهد ثابتاً، فهل تتغير الإجابات في الفرعين السابقين؟ وضح إجابتك.

5 تحرك بروتون شحنته  $(1.6 \times 10^{-19} \text{ C})$ ، وكتلته  $(1.67 \times 10^{-27} \text{ kg})$  من السكون من نقطة (a) عند اللوح

الموجب إلى النقطة (b) عند اللوح السالب في الحيّز بين لوحين متوازيين مشحونين بشحنتين مختلفتين، تفصل بينهما مسافة (4 cm). إذا كانت شدة المجال الكهربائي بين اللوحين (625 N/C)، جد:

أ) فرق الجهد الكهربائي بين النقطتين a، b.

ب) التغيّر في طاقة وضع البروتون عند انتقاله بين اللوحين.

ج) سرعة البروتون بعد قطعه هذه الإزاحة.

6 كرتان نصفاً قطريهما (1 cm)، على الترتيب، والمسافة بين مركزيهما (36 cm). الأولى مشحونة بشحنة ( $10 \times 10^{-9}$  C)، وتحمل الثانية شحنة مقدارها ( $-1.67 \times 10^{-9}$  C)، احسب:

- أ) جهد نقطة تقع في منتصف المسافة بينهما.
- ب) الجهد الكلي للكرة الأولى.
- ج) مقدار الشحنة على الكرة الثانية بعد وصلها بالأرض.

7 شحنتان نقطيتان مقدارهما ( $2 \mu\text{C}$ )، ( $4 \mu\text{C}$ )، وتفصل بينهما في الهواء مسافة (20 cm). احسب:

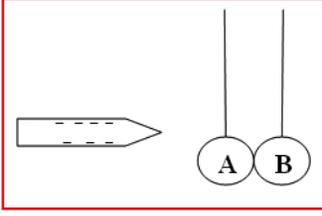
- أ) الشغل اللازم لجعل المسافة بينهما (10 cm).
- ب) الشغل اللازم لوضع شحنة موجبة مقدارها ( $1 \mu\text{C}$ ) على بُعد (10 cm) من كليهما، بعد تقريبيهما من بعضهما البعض.

## اختبار الفترة الرابعة

مجموع العلامات (30) الزمن : 40 دقيقة

**السؤال الأول:** انقل رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي إلى ورقة الإجابة

1- يبين الشكل المجاور كرتين فلزيتين ( A ، B ) غير مشحونتين ومتلامستين . قُرب من الكرة ( A ) موصل مشحون بشحنة سالبة دون أن يلامسها. عن إبعاد الكرة ( B ) عن الكرة ( A ) ، فإن :



- (أ) الكرة ( B ) تشحن بشحنة موجبة ، والكرة ( A ) تكون غير مشحونة .  
(ب) الكرة ( B ) تشحن بشحنة موجبة ، والكرة ( A ) تشحن بشحنة سالبة .  
(ج) الكرة ( B ) تشحن بشحنة سالبة ، والكرة ( A ) تشحن بشحنة موجبة .  
(د) الكرة ( A ) تشحن بشحنة موجبة ، والكرة ( B ) تكون غير مشحونة .

2- جسمان مشحونان بشحنتين مختلفتين يؤثر كل منهما في الآخر بقوة تجاذب مقدارها 8N ، إذا باعدنا بين الجسيمين مسافة تبلغ أربعة أمثال بُعدها الأصلي ، فإن قوة التجاذب بينهما بوحدة « النيوتن » تصبح :

- (أ) ( 4 ) (ب) ( 16 ) (ج) ( 0.5 ) (د) ( 2 )

3- شحنتان نقطيتان 40 mC - و 15 mC موضوعتان في مركز مكعب ، إن التدفق الكلي عبر أحد أسطح المكعب «بالوير»

- (أ) zero (ب)  $2.8 \times 10^6$  (ج)  $0.5 \times 10^6$  (د)  $4 \times 10^6$

4- إذا كانت القوة المتبادلة بين شحنتين 2000N كم تصبح القوة المتبادلة بينهما إذا أصبحت المسافة بينهما ربع ما كانت عليه :

- (أ)  $3.2 \times 10^4$  N - (ب) 500 N (ج)  $0.8 \times 10^4$  N (د)  $32 \times 10^4$  N

5- شحنتان نقطيتان موجبتان q ، 16 q ، المسافة بينهما 10 cm أين تقع نقطة التعادل ؟

- أ- بين الشحنتان وعلى امتداد الخط الواصل بينهما على بعد 2cm من الشحنة الصغرى  
ب- بين الشحنتان وعلى امتداد الخط الواصل بينهما على بعد 2cm من الشحنة الكبرى  
ج - خارج الشحنتان وعلى امتداد الخط الواصل بينهما على بعد 2cm من الشحنة الصغرى  
د- خارج الشحنتان وعلى امتداد الخط الواصل بينهما على بعد 8cm من الشحنة الصغرى

6- دخل بروتون وإلكترون مجال كهربائي منتظم إذا علمت إن كتلة البروتون أكبر من كتلة الإلكترون وشحنة البروتون تساوي شحنة الإلكترون مقداراً وتعاكسها نوعاً أي العبارات التالية صحيحة ؟

أ- تسارع البروتون أكبر

ب- القوة الكهربائية على البروتون أكبر منها على الإلكترون

ج- القوة الكهربائية عليهما متساوية مقداراً متعاكسة اتجاهها

د- تسارعهما متساوي مقداراً ومتعاكس اتجاهها .

### السؤال الثاني :

أ- عرف ما يلي : الكولوم ، الفولت

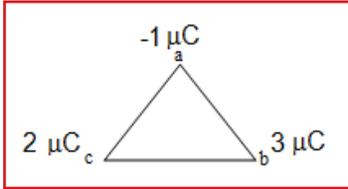
ب- علل ما يلي : - خطوط المجال الكهربائي لا تتقاطع !

ج- جد موقع النقطة التي تنعدم فيها شدة المجال الكهربائي الناشئ عن شحنتين  $-16\text{mC}$  و  $4\text{mC}$  المسافة بينهما  $30\text{ cm}$  ؟

### السؤال الثالث :

أ- اذكر ثلاثة من خصائص خطوط المجال الكهربائي المنتظم

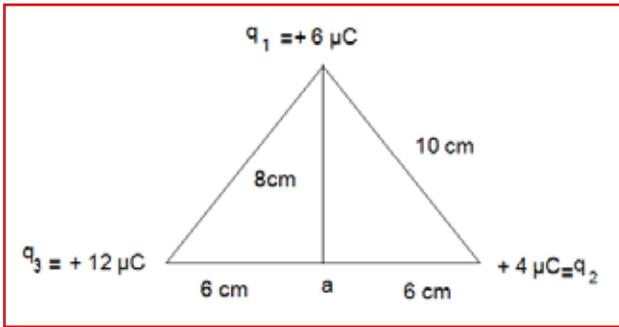
ب-  $a$   $b$   $c$  مثلث متساوي الأضلاع طول ضلعه  $(10\text{ cm})$  وضعت على رؤوسه الشحنت كما في الشكل جد: القوة المؤثرة على الشحنة في النقطة (a)



### السؤال الرابع :

أ- في الشكل المجاور جد شدة المجال الكهربائي في النقطة a.

ج - باستخدام قانون غاوس جد شدة المجال الكهربائي على بعد  $8\text{ cm}$  من سلك لا نهائي الطول يحمل شحنة كثافتها الطولية  $240\text{ μC/m}$  . علما بان السماحية الكهربائية للفراغ  $8.85 \cdot 10^{-12}\text{ C}^2\text{N.m}^2$



مع الأمنيات لكم بالتفوق