

تذكرة: صدر الموجة wave front هو المحل الهندسي لمجموعة النقاط التي لها نفس الحقل الكهربائي.

## الكهرباء Electricity

### 1- مصادر الشحنات الكهربائية electric charge

تتكون المادة بشكل عام من عدد كبير من الذرات. تحتوي كل ذرة على نواة موجبة الشحنة يتركز فيها القسم الأعظم من كتلة الذرة. وتحتوي النواة على نيكليونات (بروتونات + نوترونات). البروتون موجب الشحنة والنوترون معتدل الشحنة الكهربائية. يدور حول النواة جسيمات سالبة الشحنة ومتناهية في الصغر تسمى الكترونات. الذرة ككل تكون معتدلة كهربائياً، أي أن مجموع الشحنات الموجبة في الذرة (البروتونات) يساوي عدد الشحنات السالبة (الإلكترونات). يختلف العدد الكلي للإلكترونات في الذرة من ذرة إلى أخرى وذلك بحسب طبيعة الذرة نفسها.

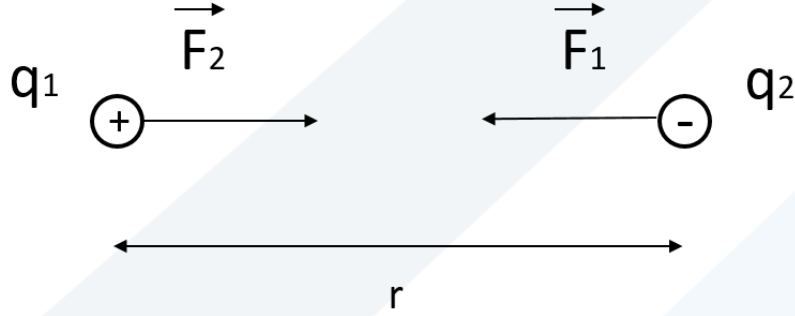
### كيف نحصل على الشحنات الكهربائية

عند انتزاع إلكترون من إلكترونات الذرة نحصل على شحنة سالبة التي هي شحنة الإلكترون، والذرة في مثل هذه الحالة تصبح مشحونة بشحنة موجبة مساوية بالمقدار لشحنة الإلكترون ومعاكسة لها بالإشارة. تدعى هذه العملية التي تفقد بها الذرة أو تكتسب إلكترونات بعملية التأين. وتسمى الذرة في مثل هذه الحالة بالذرة الشاردية.

وحدة الشحنة الكهربائية في الجملة الدولية هي الكولوم Coul. شحنة الإلكترون تساوي شحنة البروتون وتعاكسها بالإشارة:  $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ coul}$ . يعرف الكولوم كالتالي: الشحنة الكهربائية التي تعبر مقطعاً عرضياً من الناقل خلال ثانية واحدة من أجل شدة للتيار تساوي أمبيراً واحداً. يكون المجموع الجبري للشحنات الموجبة والسالبة الموجودة في جملة معزولة ثابتاً، وهذا ما يدعى بمبدأ انحفاظ الشحنة الكهربائية.

### 2- قانون كولوم Coulomb's law

إن الشحنات الكهربائية تتدافع أو تتجاذب بقوى معينة. بفرض لدينا شحنتين نقطيتين  $q_1$  ,  $q_2$  على مسافة  $r$  إحداهما عن الأخرى (الشكل 1).



الشكل (1): تجاذب شحنتين كهربائيتين متعاكستين بالإشارة.

يحصل تدافع بين الشحنتين إذا كانتا من إشارة واحدة، ويحصل تجاذب بينهما إذا كانتا من إشارتين مختلفتين. استنتج العالم كولوم أن القوة  $F$  تتناسب طردياً مع حاصل ضرب الشحنتين وعكساً مع مربع المسافة بينهما وأن هذه القوة محمولة على المستقيم الواصل بين هاتين الشحنتين وتتجه نحو الخارج عندما تكون إشارتا الشحنتين متماثلتين وتتجه نحو الداخل عندما تكون إشارتا الشحنتين متعاكستين.

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (1)$$

حيث  $k$  ثابت التناسب وقيمته  $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9$  فيصبح قانون كولون بالشكل:

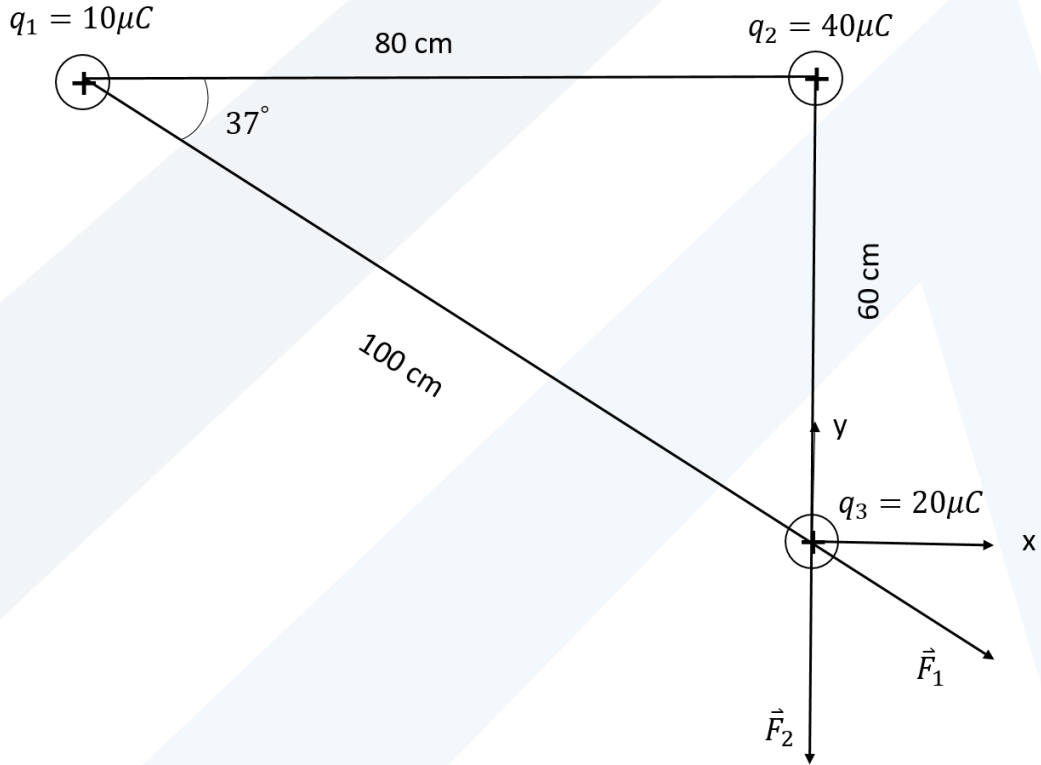
$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (2)$$

تمارين Exercises

مسألة 1: في ذرة الهيدروجين يبعد الإلكترون وسطياً عن البروتون مسافة قدرها  $5.3 \times 10^{-11} m$  والمطلوب

حساب مقدار القوة الكهربائية الساكنة التجاذبية بين البروتون والإلكترون.

مسألة 2: أوجد القوة المؤثرة على الشحنة  $q_3 = 20 \mu C$  والمرسومة بالشكل:

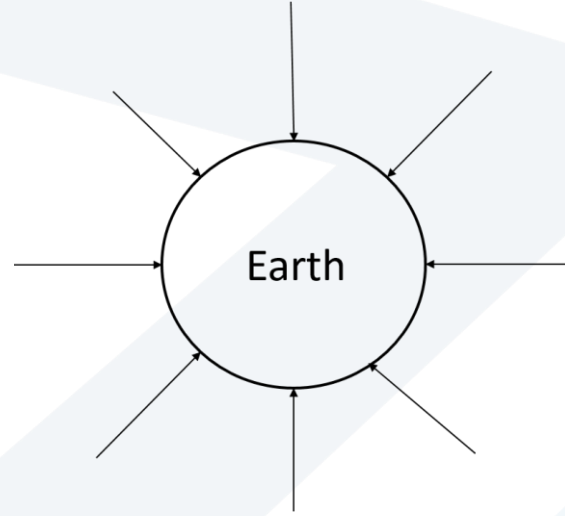


### 3- الحقل الكهربائي electric field

إذا ترك جسم بالقرب من الأرض فإنه يسقط باتجاه مركز الأرض تحت تأثير قوة تدعى قوة الجاذبية. وعندما نبتعد عن

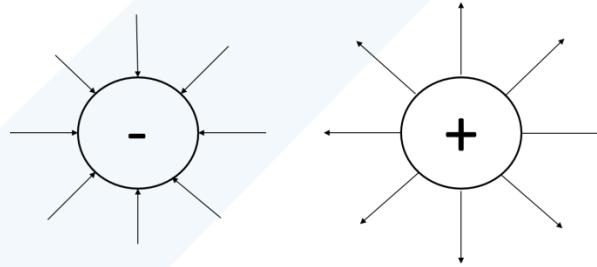
الأرض متجهين نحو الفضاء فإن الجاذبية الأرضية للأشياء تصبح ضعيفة. يمثل حقل الجاذبية الأرضية عادةً بمجموعة

من الأسهم المتجهة نحو مركز الأرض (الشكل 2).



الشكل (2): شكل حقل الجاذبية الأرضية.

حقل الجاذبية الأرضية يتجه شعاعياً إلى الداخل ويزداد قوة كلما اقتربنا من مركز الأرض. يعرف اتجاه الحقل الكهربائي بطريقة مماثلة لحقل الجاذبية الأرضية بأنه اتجاه القوة الكهربائية التي تؤثر على شحنة اختبار نقطية.



الشكل (3): اتجاه الحقل الكهربائي لشحنة نقطية موجبة وسالبة.

المجال الكهربائي بالقرب من شحنة سالبة يتجه للداخل نحو هذه الشحنة، بينما يتجه الحقل الكهربائي بالقرب من شحنة موجبة نحو الخارج بحيث تبدو خطوط الحقل الكهربائي مبتعدة عن الشحنة. تسمى هذه الخطوط بخطوط القوة الكهربائية وبالتالي نقول: تنبع خطوط القوة وتخرج من الشحنات الموجبة بينما تتجه نحو الشحنات السالبة وتنتهي عندها.

### 1-3- شدة الحقل الكهربائي electric field strength المتولد عن شحنة نقطية

تعرف شدة الحقل الكهربائي بأنها القوة الكهربائية  $\vec{F}$  المؤثرة على شحنة اختبار صغيرة مقسومة على قيمة هذه الشحنة  $q_0$ . ويمز لها بالرمز  $\vec{E}$ .

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad (3)$$

واحدة شدة الحقل الكهربائي هي  $\frac{V}{m}$ .

بفرض لدينا شحنة اختبار مقدارها  $q_0$  تبعد بمقدار  $r$  عن شحنة نقطية  $q$  فإنه حسب قانون كولوم تكون القوة المؤثرة على الشحنة  $q_0$  هي:

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq_0}{r^2} \vec{u} \quad (4)$$

حيث  $\vec{u}$  شعاع الواحدة على المستقيم الواصل بين الشحنتين وبالتالي تكون شدة الحقل الكهربائي عند النقطة  $q_0$ :

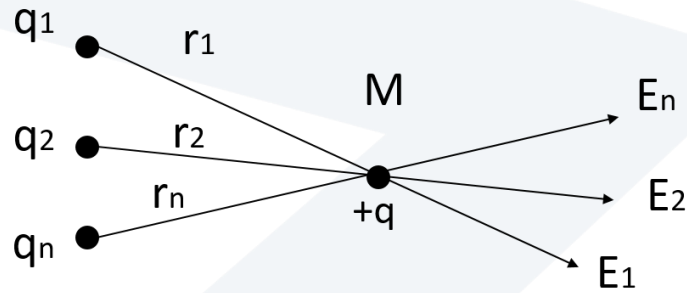
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq_0}{r^2} \frac{1}{q_0} \vec{u} \quad (5)$$

$$\rightarrow \vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \vec{u} \quad (6)$$

أي أن شدة الحقل الكهربائي المتولد عن شحنة نقطية  $q$  تتعلق فقط بقيمة هذه الشحنة وبالبعد  $r$ .

### 2-3- الحقل الكهربائي electric field المتولد عن مجموعة من الشحنات النقطية

بفرض لدينا مجموعة من الشحنات الكهربائية النقطية المعزولة (الشكل 4):



الشكل (4): اتجاه الحقل الكهربائي المتولد عن مجموعة شحنات نقطية تبعد  $r$  عن شحنة موجبة.

حيث:  $q_1$  و  $q_2$  ...  $q_n$  هي الشحنات الكهربائية التي تبعد مسافات  $r_1$  و  $r_2$  ...  $r_n$  عن شحنة اختبار نقطية موجودة في النقطة M. فتكون قيمة الحقل المتولد عن هذه الشحنات في النقطة M:

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i \quad (7)$$

حيث  $i = 1, 2, 3, 4, \dots, n$

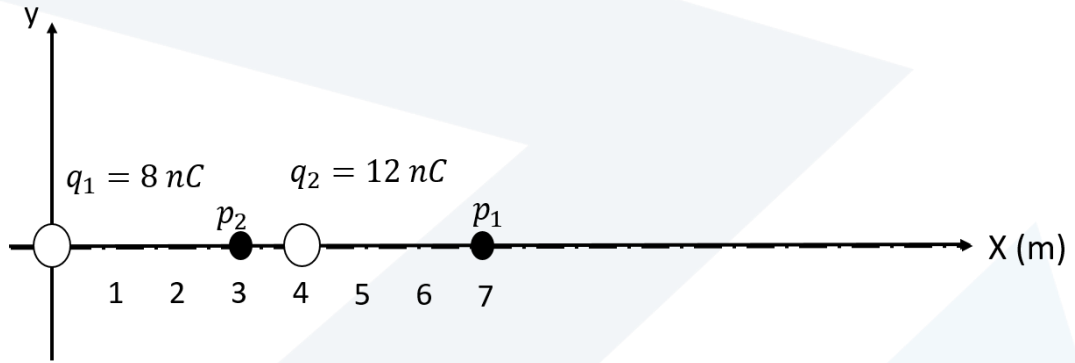
### تمارين Exercises

مسألة 1: أوجد شدة الحقل الكهربائي المتولد على بعد  $50 \text{ cm}$  من شحنة نقطية موجبة مقدارها  $10^{-4} \text{ C}$ .

مسألة 2: لتكن الشحنة الكهربائية الموجبة  $q_1 = 8 \text{ nC}$  المتوضعة في المبدأ، والشحنة الثانية  $q_2 = 12 \text{ nC}$  المتوضعة على المحور  $x$  في النقطة  $a = 4 \text{ m}$  والمطلوب:

1- أوجد الحقل الكهربائي في النقطة  $p_1$  تبعد مسافة  $7 \text{ m}$  عن المبدأ

2- في النقطة  $p_2$  تبعد مسافة  $3 \text{ m}$  عن المبدأ.



#### 4- الكُمون الكهربائي electric potential

يعرف فرق الكُمون بين نقطتين في حقل كهربائي بأنه العمل الذي تنجزه واحدة الشحنت عند حركتها بين هاتين النقطتين. حيث نميز ما يلي: يكون فرق الكُمون سالباً إذا كان العمل على حساب طاقة الحقل، ويكون موجباً إذا كان العمل على حساب طاقة خارجية. أي أن إشارة فرق الكُمون هي دوماً بعكس إشارة العمل المصروف لدى انتقال الشحنة. تعتبر نقطة اللانهاية سوية معيارية لحساب الطاقة الكامنة الكهربائية أو الكُمون الكهربائي بالنسبة لها، حيث يكون الكُمون الكهربائي عندها معدوماً.

إذن فرق الكُمون الكهربائي بين نقطتين A و B هو العمل  $W_{AB}$  الواجب تقديمه لتحريك شحنة اختبار من النقطة A إلى النقطة B مقسوماً على تلك الشحنة، ورياضياً يمكن التعبير عن ذلك بالعلاقة التالية:

$$V_B - V_A = \frac{W_{AB}}{q_0} \quad (8)$$

واحدة فرق الكُمون في الجملة الدولية هي الجول على كولون والتي تسمى بالفولت Volt (V).

أما الكُمون الكهربائي عند نقطة ما فيعرف بالطريقة التالية:

$$V = \frac{W}{q_0} \quad (9)$$

حيث  $W$  هو العمل المبذول لتحريك شحنة اختبار  $q_0$  من اللانهاية إلى النقطة المراد حساب الكمون عندها. ملاحظة:  
فرق الكمون مقدار سلمي وليس شعاعي.

ماذا يحدث إذا كان الحقل الكهربائي غير منتظم؟

ليكن لدينا نقطتان  $A$  و  $B$  تبعدان عن بعضهما مسافة  $d$ ، حيث تتخذ شحنة اختبار  $q_0$  مساراً غير منتظم من  $A$  إلى  $B$ ،  
نتيجة القوة الكهربائية التي تؤثر على الشحنة  $q_0$ .

إذا كانت الإزاحة التي تسببها  $\vec{F}$  هي  $d\vec{l}$  فيكون العمل المبذول بالمؤثر الخارجي هو:

$$dW = \vec{F}d\vec{l} \quad (10)$$

والعمل المبذول في الحركة من  $A$  إلى  $B$  يكون:

$$W_{AB} = \int dW = \int_A^B \vec{F}d\vec{l} \quad (11)$$

بالتعويض عن  $\vec{F}$  بقيمتها ينتج:

$$W_{AB} = -q_0 \int_A^B \vec{E}d\vec{l} \quad (12)$$

بالتعويض عن  $W$  بقيمته  $W_{AB} = q_0(V_B - V_A)$  فإن:

$$V_B - V_A = - \int_A^B \vec{E}d\vec{l} \quad (13)$$

إذا كانت  $A$  تنتهي إلى مالانهاية فإن  $V_A = 0$  وبالتالي الكمون عند النقطة  $B$  يعطى بالعلاقة:

$$V_B = - \int_A^B \vec{E}d\vec{l} \quad (14)$$



باستخدام المعادلتين الأخيرتين يمكن حساب فرق الكمون بين نقطتين إذا علم الحقل  $\vec{E}$  عند نقطة معينة في مجال هذا الحقل.

### 1-3- سطوح تساوي الكمون potentiometric surfaces

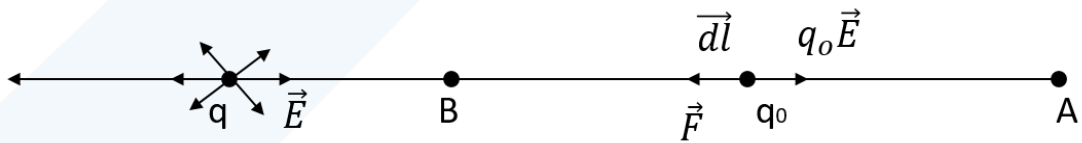
السطح المتساوي الكمون هو المحل الهندسي للنقاط التي لها نفس الكمون. عند تحريك شحنة من نقطة إلى أخرى على سطح متساوي الكمون لا نحتاج لبذل أي عمل لأن فرق الكمون بين نقطتي الانتقال على السطح معدوم. هذا يعني أن

$$\text{الحقل عمودي على الانتقال } (dV = -\vec{E}d\vec{l} = 0).$$

سطوح تساوي الكمون بين لبوسي المكثفة هي مستويات موازية لمستويات لبوسي المكثفة.

### 2-3- الكمون الكهربائي الناتج عن شحنة نقطية point charge

لتكن لدينا شحنة نقطية موجبة  $q$ ، ولنحاول حساب فرق الكمون بين النقطتين  $A$  و  $B$  الواقعتين في جوار الشحنة  $q$  وعلى استقامة واحدة للسهولة:



الشكل (12): حساب فرق الكمون بين النقطتين  $A$  و  $B$  الواقعتين في جوار الشحنة  $q$  وعلى استقامة واحدة.

$\vec{E}$  يتجه نحو اليمين، بينما  $d\vec{l}$  يتجه نحو اليسار وبالتالي يكون:

$$\vec{E}d\vec{l} = Edl \cos \theta \quad (15)$$

حيث  $\theta = \pi$  وبالتالي يكون:

$$\vec{E}d\vec{l} = -Edl \quad (16)$$

وباعتبار أن الإزاحة  $d\vec{l}$  بعكس اتجاه زيادة نصف القطر  $r$  فيكون:  $dl = -dr$  وبالتالي:

$$\vec{E}d\vec{l} = Edr \quad (17)$$

بالتعويض في العلاقة رقم 26:  $V_B - V_A = -\int_A^B \vec{E}d\vec{l}$  نجد أن:

$$V_B - V_A = -\int_{r_A}^{r_B} Edr \quad (18)$$

وبالتعويض عن قيمة  $\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \vec{u}$  نجد:

$$V_B - V_A = \frac{-q}{4\pi\epsilon_0} \int_{r_A}^{r_B} \frac{dr}{r^2} \quad (19)$$

$$\rightarrow V_B - V_A = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A} \right) \quad (20)$$

إذا انتهت A إلى ما لا نهاية فإن  $V_A = 0$  وبالتالي:

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r} \quad (21)$$

وبالتالي سطوح تساوي الكمون لشحنة نقطية معزولة هي عبارة عن سطوح كروية مركزها الشحنة نفسها. والطاقة

الكامنة U لشحنة الإختبار  $q_0$  التي تقع على مسافة  $r$  من الشحنة النقطية  $q$  تعطى بالعلاقة:

$$U = q_0 V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_0 q}{r} \quad (22)$$

### 3-3- الكُمون الكهربائي المتولد عن مجموعة من الشحنات النقطية

لحساب الكُمون الكلي المتولد في نقطة معينة بجوار مجموعة شحنات، نحسب الكُمون المتولد عن كل شحنة كما لو كانت موجودة بمفردها ثم نجمع هذه الكُمونات جمعاً جبرياً، أي أن:

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{r_i} \quad (23)$$

### 4-3- إيجاد الحقل الكهربائي electrical field من الكُمون electrical potential

إذا تمكنا من معرفة الكُمون، نستطيع حساب الحقل الكهربائي المتعلق به. لنعتبر انتقالاً صغيراً  $d\vec{l}$  في حقل كهربائي  $\vec{E}$  كيفي وبالتالي يكون التغير في الكُمون:

$$dV = -\vec{E}d\vec{l} \quad (24)$$

$$\rightarrow dV = -E_l dl \quad (25)$$

$E_l$  يمثل مركبة  $\vec{E}$  الموازي للانتقال، وبالتالي:  $E_l = -\frac{dV}{dl}$ . بينما إذا كان الكُمون يتعلق فقط بالمتحول  $x$  حيث  $d\vec{l} = dx \vec{i}$  وبالتالي تصبح العلاقة السابقة بالشكل:

$$dV(x) = -\vec{E} dx \vec{i} \rightarrow dV(x) = -E_x dx$$

وبشكل مماثل فإنه من أجل توزيع كروي متناظر للشحنة فإن الكُمون تابع فقط للمسافة الشعاعية  $r$  أي أن:

$$E_r = -\frac{dV(r)}{r} \quad (26)$$

نكتبها بالشكل:

$$\vec{E} = -\overrightarrow{\text{grad}} V = -\vec{\nabla} V \quad (27)$$

$$= - \left( \frac{dV}{dx} \vec{i} + \frac{dV}{dy} \vec{j} + \frac{dV}{dz} \vec{k} \right)$$

ملاحظة: الكمون مقدار سلمي فهو موجب إذا كانت الشحنة التي تولده موجبة وهو سالب إذا كانت الشحنة التي تولده

سالبة.