

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 والنترون معتدل الشحنة الكهربائية. يدور حول النواة جسيمات سالبة الشحنة ومنتهاية 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.

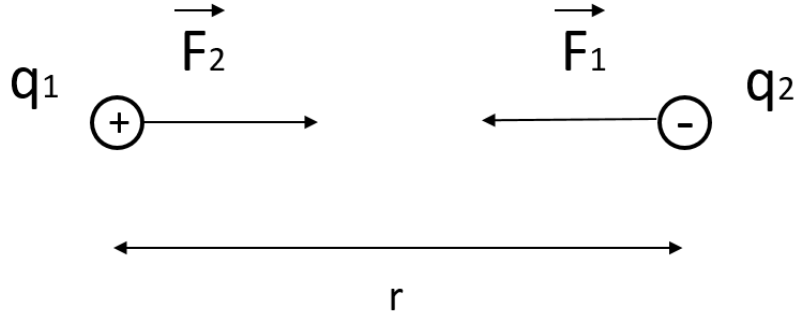
كيف نحصل على الشحنات الكهربائية

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 التأيين. 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 المسافة بين الوصل بين الشحنتين وتتجه نحو الخارج عندما تكون إشارتا الشحنتين متماثلتين وتتجه نحو الداخل عندما تكون إشارتا الشحنتين متعاكستين.

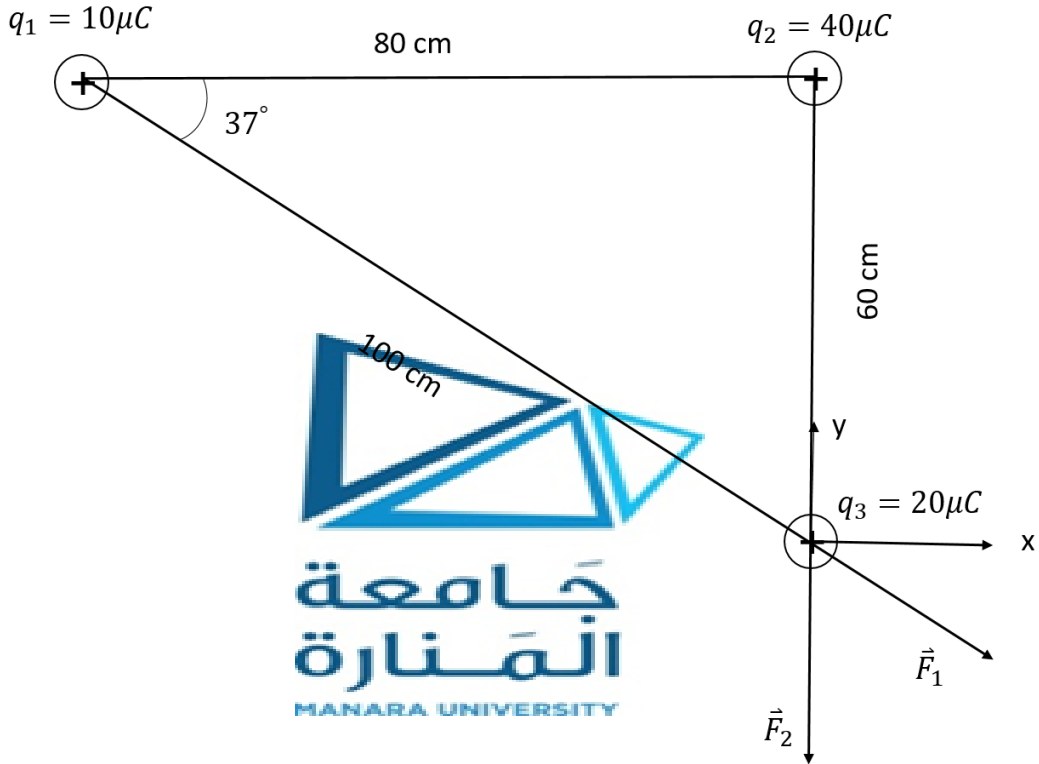
$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (1)$$

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

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

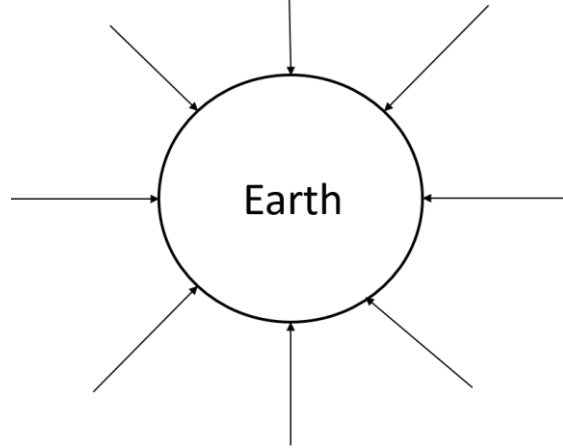
مسألة 1: في ذرة الهيدروجين يبعد الإلكترون وسطياً عن البروتون مسافة قدرها $5.3 \times 10^{-11} \text{ m}$ والمطلوب حساب مقدار القوة الكهربائية الساكنة التجاذبية بين البروتون والإلكترون.

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



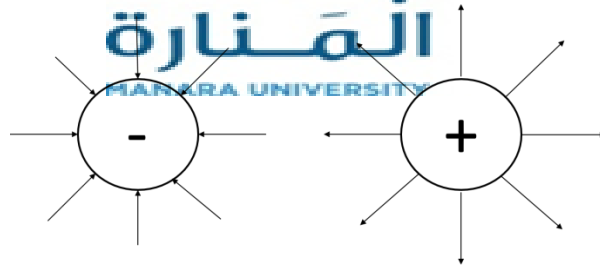
3- الحقل الكهربائي electric field

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 ويرداد 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 :

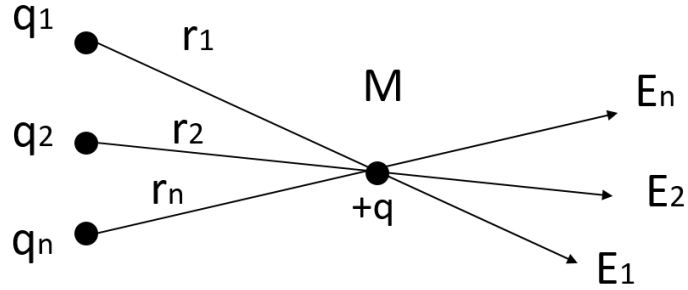
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq_0}{r^2} \frac{1}{q_0} \vec{u} \quad (5)$$

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

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 و q_n هي الشحنات الكهربائية التي تبعد مسافات r_1 و r_2 و 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 $i = 1, 2, 3, 4, \dots, n$

3-3- خطوط الحقل الكهربائي electric field lines

يمكن الحصول على خطوط الحقل الكهربائي لشحنة ما عن طريق تحديد منحاه نقطة فنقطة ومن ثم الوصل بين هذه النقاط. امتداد خطوط الحقل لا نهائي أي أنه يملأ الفراغ المحيط بالشحنة بأكمله.

خطوط الحقل تنطلق من الشحنة الموجبة وتستقر في الشحنة السالبة (الشكل 5).



الشكل (5): شكل خطوط الحقل الكهربائي.

أهم قواعد رسم خطوط الحقل الكهربائي:

- 1- تنطلق خطوط الحقل الكهربائي من الشحنات الموجبة وتنتهي في السالبة.
- 2- تكون الخطوط مرسومة بشكل متناظر سواء منها الداخلة أم الخارجة من الشحنة المعزولة.
- 3- عدد الخطوط الصادرة من الشحنة الموجبة أو الداخلة إلى الشحنة السالبة تكون متناسبة مع مقدار تلك الشحنة.
- 4- كثافة الخطوط (عدد الخطوط في واحدة المساحة العمودية على تلك الخطوط) في أية نقطة تكون متناسبة مع قيمة الحقل في تلك النقطة.
- 5- خطوط الحقل الكهربائي لا تتقاطع.

تمارين Exercises

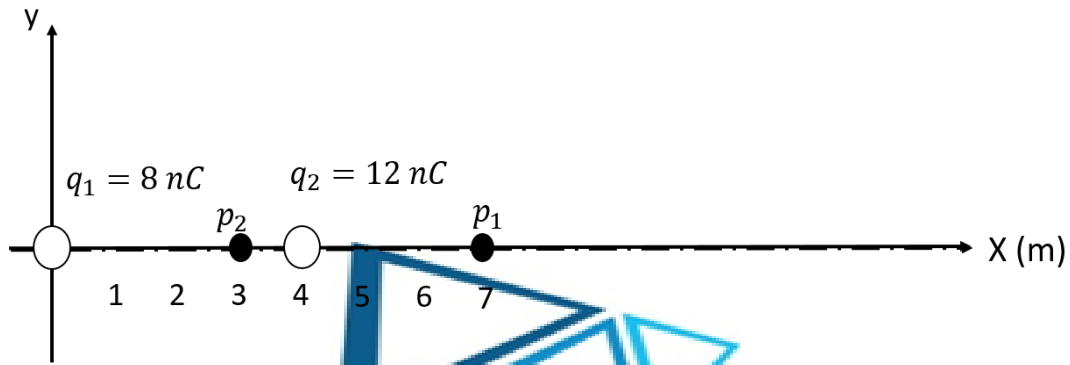
مسألة 1: أوجد شدة الحقل الكهربائي المتولد على بعد 50 cm من شحنة نقطية موجبة مقدارها

$$10^{-4}\text{ C}$$

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 اوجد الحقل الكهربائي في النقطة p_1 تبعد مسافة 7 m عن المبدأ

-2 في النقطة p_2 تبعد مسافة 3 m عن المبدأ.



4-3 الحقل الكهربائي في حالة التوزيع المستمر للشحنة الكهربائية

نعلم أن هذا التوزيع يمكن أن يكون بإحدى الحالات الثلاث التالية:

1- حالة التوزيع الخطي: توزع الشحنة على سلك أو على منحنى بكثافة خطية λ والتي تعطى بالعلاقة:

$$\lambda = \frac{dq}{dl}$$

2- حالة التوزيع السطحي: توزع الشحنة على سطح معين بكثافة سطحية σ والتي تعطى بالعلاقة:

$$\sigma = \frac{dq}{dS}$$

3- حالة التوزيع الحجمي: توزع الشحنة على حجم معين بكثافة حجمية ρ والتي تعطى بالعلاقة: $\rho = \frac{dq}{d\tau}$

حيث: λ شحنة واحدة الطول من المنحني, σ شحنة واحدة السطح, ρ شحنة واحدة الحجم.

كمثال على ذلك: ليكن لدينا شحنة نقطية dq فإن الحقل الكهربائي يعطى بالعلاقة التالية:

$$d\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{r^2} \vec{u}$$

وبالتالي يكون الحقل الكهربائي:

$$\vec{E} = \int_{\tau} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{r^2} \vec{u}$$

فإذا كانت $dq = \rho d\tau$ (في حالة التوزيع الحجمي) فإننا نجري التكامل على كامل الحجم.

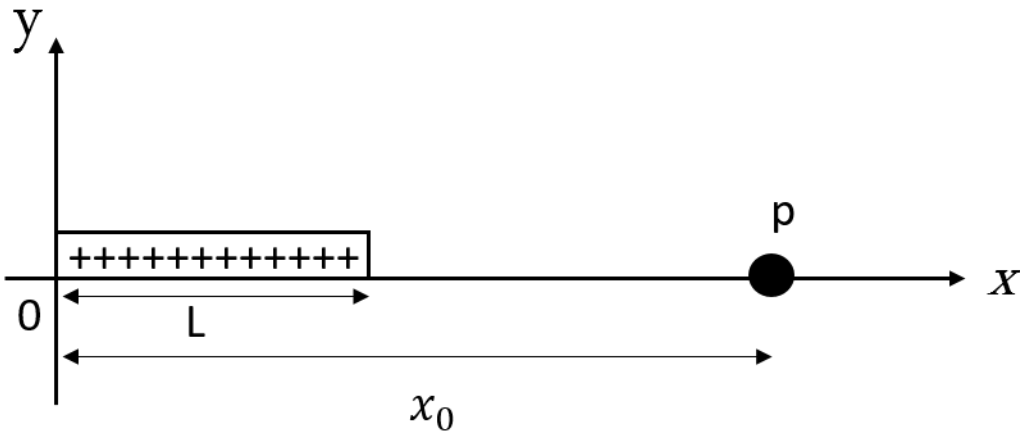


تمارين Exercises

مسألة 1: لتكن لدينا الشحنة Q الموزعة بشكل خطي منتظم على القطعة المستقيمة المتوضعة على

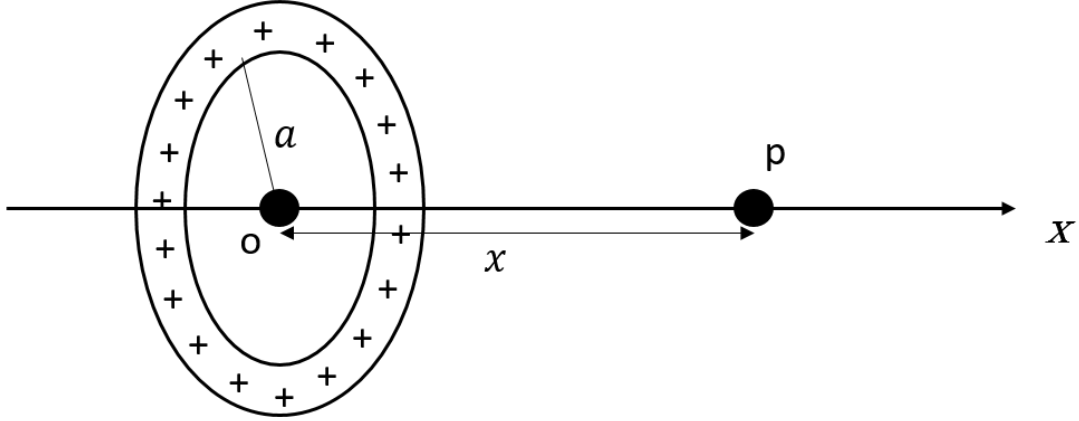
المحور ox من النقطة $x = 0$ حتى $x = L$ وكثافة خطية قدرها λ . أوجد الحقل الكهربائي في النقطة

p تبعد مسافة $r = x_0 - x$ عن شحنة عنصرية افتراضية من الشحنة الكلية.



مسألة 2: لدينا حلقة دائرية نصف قطرها a كما في الشكل جانباً تتوزع عليها الشحنة الكلية Q . أوجد

الحقل الكهربائي في النقطة p من محور الحلقة تبعد عن مركزها مسافة قدرها x .



4- تدفق الحقل الكهربائي electric flux من خلال سطح مغلق

نرمز عادةً للتدفق بالرمز Φ . بالنسبة للحقل الكهربائي فإن Φ تقدر بخطوط القوى التي تقطع مثل هذا السطح الافتراضي بشكل عمودي عليه. بالنسبة للسطح المغلق يكون Φ مقداراً موجباً إذا اتجهت خطوط القوى من داخل السطح إلى خارجه ومقداراً سالباً إذا اتجهت خطوط القوى من خارج السطح إلى داخله.

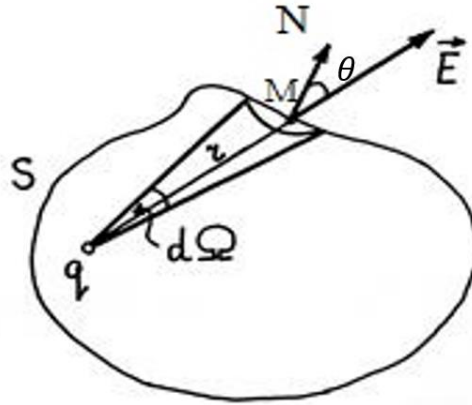
4-1- التدفق من خلال سطح عنصري elementary صغير

لتكن لدينا الشحنة النقطية q الموضوعة في النقطة o . فهي تولد في النقطة M حقلاً كهربائياً قيمته

العددية:

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

نأخذ سطحاً عنصرياً dS يحيط بالنقطة M ونحسب تدفق الحقل \vec{E} من خلاله (الشكل 6):



الشكل (6): تدفق الحقل الكهربائي من خلال سطح عنصري صغير.



فيكون التدفق حسب التعريف:

$$d\phi = \vec{E} d\vec{S} \quad (8)$$

$$= EdS \cos \theta \quad (9)$$

حيث θ الزاوية بين الناظم واتجاه الحقل الكهربائي، N الناظم على السطح، $d\Omega$ الزاوية المجسمة. إذا

عوضنا عن قيمة E في المعادلة السابقة فإننا نحصل على:

$$d\phi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} dS \cos \theta \quad (10)$$

ولكن المقدار $\frac{dS \cos \theta}{r^2}$ يمثل الزاوية المجسمة $d\Omega$ التي نرى من خلالها السطح dS انطلاقاً من النقطة O

حيث توجد الشحنة الكهربائية q أي أن:

$$d\phi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} d\Omega \quad (11)$$

2-4-2- تدفق الحقل الكهربائي من خلال سطح مغلق closed surface ونظرية غوص Gauss's law

وجدنا أن:

$$d\phi = \vec{E} d\vec{S}$$

$$\rightarrow \phi = \oiint_S \vec{E} d\vec{S} = \frac{\sum q_{in}}{\epsilon_0} \quad (12)$$

حيث أن: $\sum q_{in}$ مجموع الشحنات التي تقع داخل السطح المغلق. تمثل العلاقة السابقة قانون غوص في الكهرباء.

نلاحظ أن تدفق الحقل الكهربائي المتولد عن شحنة كهربائية من خلال سطح مغلق لا يحيط بالشحنة



$$\frac{Nm^2}{C}$$

يكون معدوماً. واحدة التدفق ϕ هي $\frac{Nm^2}{C}$.

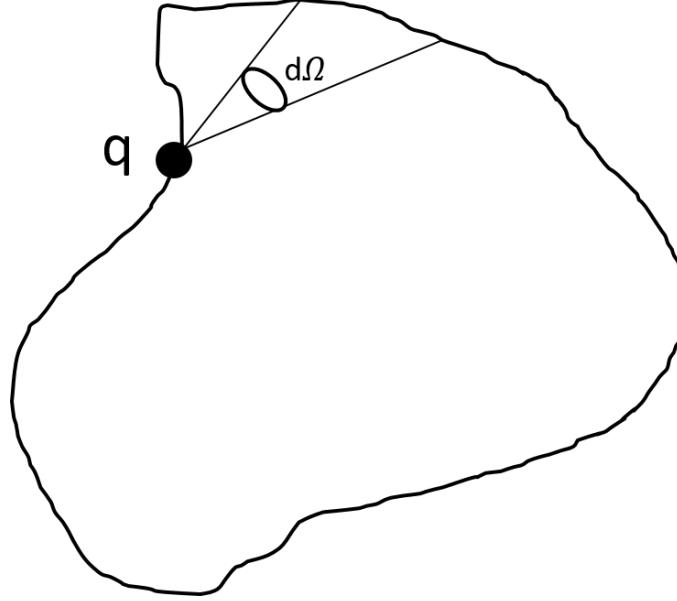
نص قانون غوص: تدفق الحقل الكهربائي من خلال سطح مغلق يساوي مجموع الشحنات الكهربائية الكائنة داخل هذا السطح مقسوماً على ϵ_0 . وهذا التدفق صحيح مهما تكن قيمة الشحنات الكهربائية خارج السطح.

1-2-4- تدفق الحقل الكهربائي الناتج عن شحنة واقعة على السطح المغلق

عندما تقع الشحنة على السطح المغلق فإن قيمة الزاوية المجسمة Ω في هذه الحالة تساوي نصف زاوية

الفراغ، أي 2π وعليه يكون تدفق الحقل الكهربائي من خلال السطح المغلق مساوياً:

$$\phi = \oiint_S \vec{E} d\vec{S} = \frac{q}{2\epsilon_0} \quad (13)$$




الشكل (7): تدفق الحقل الكهربائي الناتج عن شحنة واقعة على سطح مغلق.



وإذا كان لدينا مجموعة من الشحنات الكهربائية تقع على السطح فإن:

$$\oint_S \vec{E} d\vec{S} = \frac{\sum q}{2\epsilon_0} \quad (14)$$



3-4- حساب الحقل الكهربائي الناتج عن توزيع حجمي volumetric distribution كروي بكثافة منتظمة

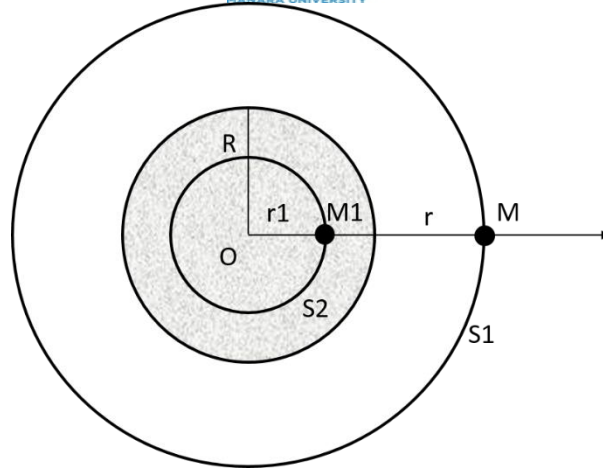
وذلك في:

A- في نقطة تقع خارج outside التوزيع الكروي:

بفرض أنه لدينا توزيعاً حجمياً للشحنات الكهربائية بكثافة حجمية منتظمة ρ :

$$\rho = \frac{dq}{d\tau}$$

أي أن الشحنات تشكل فيما بينها كرة نصف قطرها R كما في الشكل (8).



الشكل (8): تدفق الحقل الكهربائي الناتج عن توزيع حتمي كروي بكثافة منتظمة.

لتكن النقطة M واقعة خارج التوزيع الكروي للشحنات على مسافة r من مركز التوزيع، فحسب قانون

غوص في الكهرباء نكتب:

$$\oint_{S_1} \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{\sum q_{in}}{\epsilon_0}$$

ونحصل بالتالي على:

$$E4\pi r^2 = \frac{\rho}{\epsilon_0} \frac{4}{3} \pi R^3$$

حيث أن $Q = \frac{4}{3} \pi R^3 \rho$ هي الشحنة الكلية. وبالتالي نحصل على:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \quad (15)$$

B- الحقل في نقطة واقعة على سطح التوزيع الكروي:

نحصل على قيمة الحقل في نقطة تقع على سطح التوزيع وذلك بجعل $r = R$.

$$\rightarrow E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{R^2} \quad (16)$$

C- الحقل في نقطة واقعة داخل inside التوزيع الكروي:

نطبق قانون غوص على كرة مركزها O ونصف قطرها r_1 ونحصل على $OM_1 = r_1$:

$$\oint_{S_2} \vec{E} d\vec{S} = \frac{\sum q_{in}}{\epsilon_0}$$

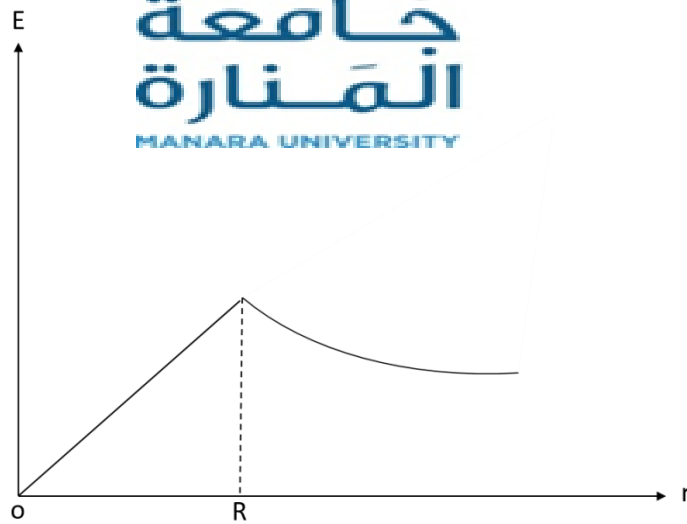
وبالتالي:

$$E4\pi r_1^2 = \frac{\rho}{\epsilon_0} \frac{4}{3} \pi r_1^3$$

نأخذ الشحنات الكائنة داخل السطح، أما الشحنات التي تقع خارجه فلا تدخل وبالتالي:

$$E = \frac{\rho r_1}{3\epsilon_0} \quad (17)$$

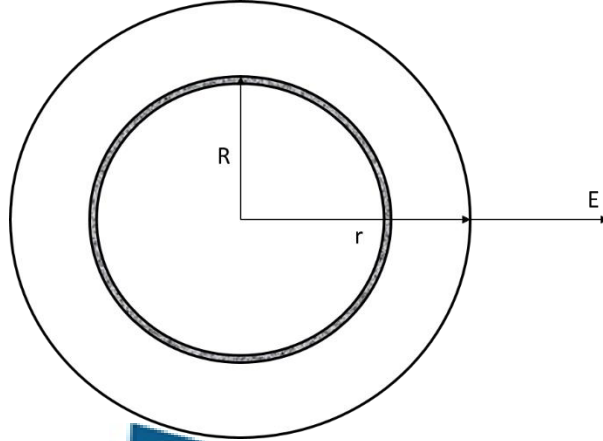
نرسم تغيرات E بتابعية البعد عن المركز o بالشكل التالي:



الشكل (9): تغيرات E بتابعية البعد عن المركز o.

4-4- حساب الحقل الكهربائي الناتج عن توزيع سطحي surface distribution كروي منتظم

A- في نقطة تقع خارج التوزيع $r > R$:



الشكل (10): تدفق الحقل الكهربائي الناتج عن توزيع سطحي كروي منتظم.

ليكن لدينا سطح كروي نصف قطره R مشحون بشحنة منتظمة Q. \vec{E} حقل كهربائي يجب أن يكون محمولاً على الخط الواصل بين النقطة ومركز الكرة وذلك بسبب التناظر.

التدفق من خلال السطح المغلق الذي نصف قطره r يعطى بالعلاقة التالية:

$$\Phi = \oiint \vec{E}_r d\vec{A} = E_r 4\pi r^2 \quad (18)$$

وبما أن الشحنة الكلية داخل السطح المغلق هي الشحنة الموجودة على سطح الكرة ذات نصف القطر R,

بتطبيق قانون غوص نجد:

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

$$\rightarrow E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \quad (19)$$

أي أن الحقل الناتج عن توزيع سطحي كروي خارج هذا التوزيع هو نفس الحقل الذي ينتج عن شحنة مساوية للشحنة السطحية وموضوعة في المركز.

B- في نقطة تقع داخل $r < R$ inside التوزيع


مجموع الشحنات داخل السطح معدوم وبالتالي فإن تطبيق نظرية غوص داخل السطح المشحون يعطي:

$$\Phi = E_r 4\pi r^2 = 0 \rightarrow E_r = 0 \quad (20)$$

أي أن التدفق معدوم.

C- في نقطة تقع على $r = R$ التوزيع

نلاحظ أن الحقل الكهربائي غير مستمر عند النقطة $r = R$ حيث أن كثافة الشحنات على هذا السطح هي σ . فإن الحقل الكهربائي يساوي:

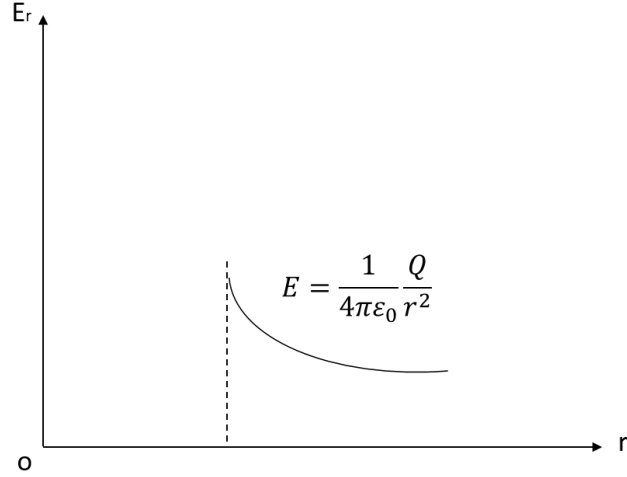


$$E_r = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{R^2} \rightarrow E_r = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \quad (21)$$

جَامِعَةُ
الْمَنَارَةِ
MANARA UNIVERSITY

$$\sigma = \frac{Q}{4\pi R^2} \text{ حيث أن:}$$

والشكل التالي يبين تحولات E_r بدلالة r :



الشكل (11): تغيرات E بدلالة البعد عن المركز o.

تمارين Exercises

مسألة 1: كما في الشكل وباستخدام المعطيات الموجودة احسب شدة الحقل الكهربائي في النقطة b.

