1 الحقول الكهربائية

1.1 خصائص الشحنة الكهربائية

تعتبر الشحنة من الصفات الأساسية للأجسام ويرمز لها بالرمز Q وتقاس بوحدة تسمى الكولوم C ، يمكن أن تكون الشحنة موجبة أو سالبة ، أصغر شحنة كهربائية موجودة في الطبيعة هي شحنة الإلكترون $e = 1,6.10^{-19}C$ تتواجد الشحنات على الأجسام في صورة مضاعفات لهذه الشحنة الأساسية ولهذا نقول إن الشحنة مكممة، ونكتب:

$$Q = N.e$$

حيث : N عدد طبيعي

- الشحنة لا تفنى ولا تستحدث ولكن يمكن أن تتحول من جسم إلى آخر فهي تخضع لقانون انحفاظ الشحنة.
- الشحنة النقطية هي عبارة عن جسم مشحون أبعاده مهملة بالمقارنة مع المسافات التي تفصله عن باقي المؤثرات.

مثال:
احسب الشحنة الصافية على عينة من مادة مؤلفة من

- 8×10^{15} الكترونا.
- 8×10^{15} الكترونا و 6×10^{14} بروتونا.

2.1 قانون كولوم

يعد العالم الفرنسي تشارلس أوغسطين دي كولوم (1736-1806) واحدا من الرواد الأوائل في القرن الثامن عشر في الكهربائية، فهو أول من قام بقياسات عملية للقوى العاملة بين الأجسام المشحونة. ومن حصيلة هذه القياسات استطاع صياغة قانونه الشهير عام 1785 الذي عرف بقانون كولوم وهو يرتكز على ثلاث نصوص :

1) تنافر الشحنات ذات الإشارة الواحدة وتجاذب الشحنات ذات الإشارة المختلفة.

2) تؤثر شحنتان نقطيتان أحداهما على الأخرى بقوة تعمل على امتداد الخط المستقيم الذي يصل بين مركزيهما، ومقدار هذه القوة سواء كانت قوة تجاذب أو تنافر بين الشحنتين تتناسب طردياً مع حاصل ضرب الشحنتين.

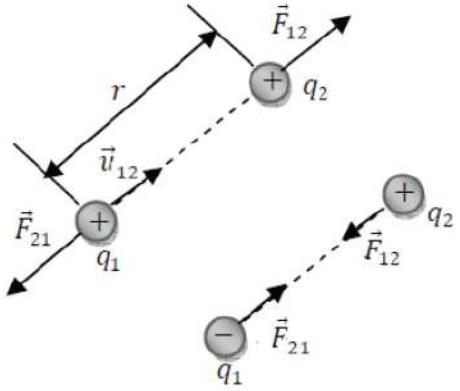
3) يتناسب مقدار قوة التجاذب أو التنافر بين شحنتين عكسياً مع مربع المسافة بينهما، ان هذا الاستنتاج يعد إشارة واضحة إلى ان كولوم اثبت ان قوة التجاذب أو التنافر بين جسمين مشحونين تتبع قانون التربيع العكسي.

على ضوء ما تقدم يمكن صياغة نص قانون كولو م بالشكل الآتي : القوة الكهروستاتيكية بين شحنتين نقطيتين في حالة سكون تتناسب طردياً مع حاصل ضرب مقدار الشحنتين وعكسياً مع مربع المسافة بينهما. ويمكن كتابة قانون كولوم بصيغة رياضية تشير إلى اتجاه القوة إضافة إلى مقدارها بالشكل الآتي :

$$\vec{F}_{12} = k\frac{q_1 q_2}{r^2}\vec{u}_{12} \qquad (1)$$

يدعى k "الثابت الكهربائي" أو " ثابت كولوم"

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9.10^9 N.m^2.C^{-2} \quad (SI)$$



شكل 1: text

حيث ε_0 هي سماحية الفراغ وقيمتها تساوي $8,8510^{-12}N^{-1}.m^{-2}.C^2$
يمكن كتابة المعادلة 1 كما يلي:

$$\vec{F}_{12} = k\frac{q_1 q_2}{r^3}\vec{r}$$

حيث أن: $\vec{r} = r.\vec{u}_{12}$
تخضع القوى الكهربائية الى مبدأ التراكب،فحصلة القوة الكهربائية التي تخضع لها شحنة q_0 من طرف شحنات أخرى $q_1, q_2, \dots, q_N$ هي:

$$\vec{F} = \sum_{i=1}^{i=N} \vec{F}_i = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 \cdots + \vec{F}_N$$

حيث أن $\vec{F}_1, \vec{F}_2 \dots, \vec{F}_N$ هي على الترتيب $\vec{F}_{10}, \vec{F}_{20} \dots, \vec{F}_{N0}$.

3.1 الحقل الكهربائي الناشئ عن شحنة نقطية

1.3.1 مفهوم الحقل الكهربائي

عندما نضع شحنة كهربائية Q (نسميها شحنة مصدر) في مكان ما فإنها تكسب الفضاء من حولها خصائص تجعل أنه لو وضعت شحنة كهربائية q_0 (تسمى شحنة اختبار) في نقطة M من هذا الفضاء فإنها ستتأثر بقوة $\vec{F}$
نقول عندئذ إن مجالًا كهربائيًا موجود في منطقة الفضاء حول Q شحنة المصدر.

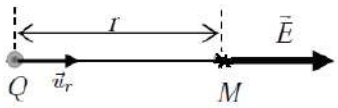
نكتب:

$$\begin{aligned}\vec{F} &= \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_0 Q}{r^2}\vec{u} \\ &= q_0\left(\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r^2}\vec{u}\right) \\ &= q_0\vec{E}\end{aligned}$$

وعليه يمكن أن نكتب:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r^2}\vec{u}$$

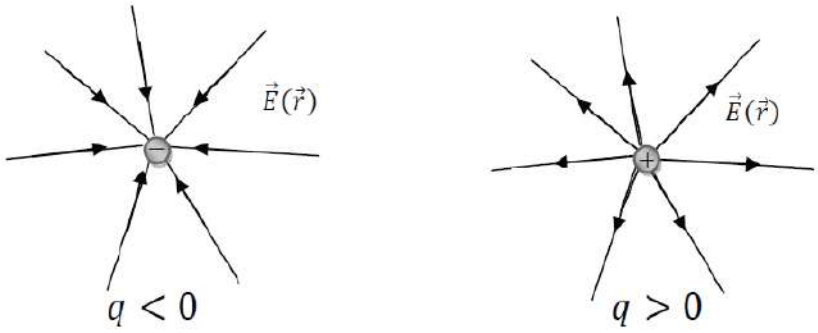
فعند النقطة M ينشأ حقل كهربائي $\vec{E}$ يتعلق بشحنة المصدر Q و ببعد النقطة M عنها.



$$\vec{E}(M) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r^2}\vec{u}_r = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r^3}\vec{r}$$

خصائص شعاع الحقل الكهربائي $\vec{E}(M)$:

- يكون اتجاه شعاع الحقل $\vec{E}(M)$ بنفس اتجاه $\vec{u}_r$ إذا كانت شحنة المصدر Q موجبة وعكس ذلك إذا كانت الشحنة سالبة.



- تسمى طويلة شعاع الحقل $\|\vec{E}(M)\|$ **شدة الحقل الكهربائي.**

$$\|\vec{E}(M)\| = E = \frac{F}{|q|}$$

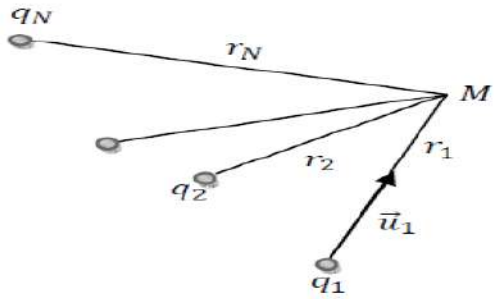
- من معادلة التعريف، نحصل على وحدة E:

$$[E] = \frac{[F]}{[q]} = \frac{N}{C} = N/C$$

وأيضا لها وحدة ثانية هي: $[E] = V/m$.

4.1 الحقل الكهربائي الناشئ عن عدة شحنات نقطية:

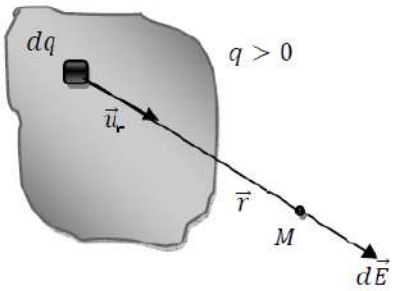
ليكن لدينا Nشحنة نقطية $q_1, q_2 \ldots q_N$ تبعد عن النقطة M بـ $r_1, r_2 \ldots, r_N$ على الترتيب. حسب قانون التراكب:



$$\vec{E}(M) = \sum_{i=1}^{N} \vec{E}_i(M) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \sum_{i=1}^{N} \frac{q_i}{r_i^2} \vec{u}_i$$

5.1 الحقل الكهربائي الناشئ عن توزيع شحني مستمر:

في هذه الحالة نجزىء الشحنة q الموزعة على كافة الجسم إلى عناصر تفاضلية dq ثم نكامل فنحصل:



$$\vec{E}(M) = \int d\vec{E}(M) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \int \frac{dq}{r^2} \vec{u}_r$$

$d\vec{E}(M)$ هو الحقل العنصري الناشئ عن الشحنة العنصرية dq في النقطة M.

تتوزع الشحنة في الجسم على ثلاثة أشكال:

- **التوزيع الخطي:** نعرف الكثافة الخطية λ على أنها كمية الشحنة dq المتوجدة في وحدة الطول dl، ونكتب:

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

وحدتها: C/m

في حالة التوزيع الخطي المنتظم تكون:

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

وهي مقدار ثابت. حيث: Q هي كل الشحنة الموزعة خطيا بطول L.

الحقل العنصري الناشئ عن الشحنة العنصرية dq في النقطة M هو:

$$d\vec{E}(M) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{dq}{r^2}\vec{u}_r = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\lambda dl}{r^2}\vec{u}_r$$

والحقل الكلي

$$\vec{E}(M) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int \frac{\lambda dl}{r^2}\vec{u}_r$$

- **التوزيع السطحي:** نعرف الكثافة السطحية σ على أنها كمية الشحنة dq المتوجدة في وحدة السطح dS، ونكتب:

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

وحدتها: C/m^2.

في حالة التوزيع السطحي المنتظم تكون:

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

وهي مقدار ثابت. حيث: Q هي كل الشحنة الموزعة على السطح S.

الحقل العنصري الناشئ عن الشحنة العنصرية dq في النقطة M هو:

$$d\vec{E}(M) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{dq}{r^2}\vec{u}_r = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\sigma dS}{r^2}\vec{u}_r$$

والحقل الكلي

$$\vec{E}(M) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int \frac{\sigma dS}{r^2}\vec{u}_r$$

- **التوزيع الحجمي:** نعرف الكثافة الحجمية σ على أنها كمية الشحنة dq المتوجدة في وحدة الحجم dV، ونكتب:

$$\rho = \frac{dq}{dV}$$

وحدتها: C/m^3.

في حالة التوزيع الحجمي المنتظم تكون:

$$\rho = \frac{dq}{dV} = \frac{Q}{V}$$

وهي مقدار ثابت. حيث: Q هي كل الشحنة الموزعة على السطح V.

الحقل العنصري الناشئ عن الشحنة العنصرية dq في النقطة M هو:

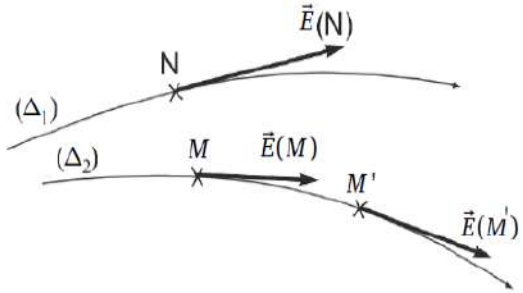
$$d\vec{E}(M)=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{dq}{r^2}\vec{u}_r=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\rho dV}{r^2}\vec{u}_r$$

والحقل الكلي

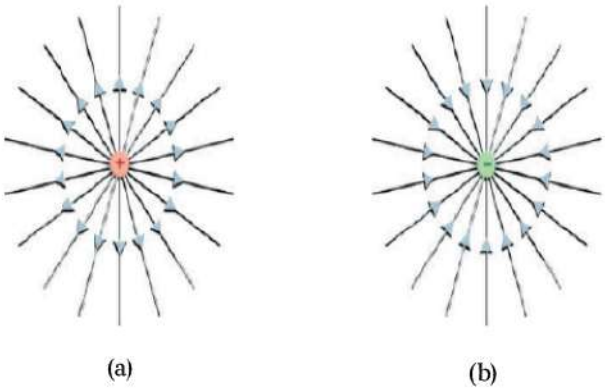
$$\vec{E}(M)=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int\frac{\rho dV}{r^2}\vec{u}_r$$

6.1 خطوط الحقل الكهربائي

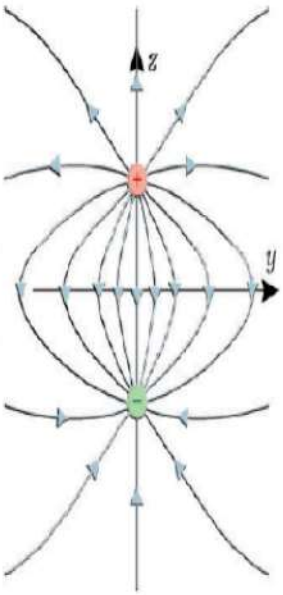
تسمى الخطوط المنحنية Δ_i والتي تكون مماسية لشعاع الحقل الكهربائي $\vec{E}$ بخطوط الحقل (أو خطوط القوة).



- يمر بكل نقطة من فضاء الحقل خط حقل وحيد.
- يتجه خط الحقل بنفس اتجاه شعاع الحقل في النقطة المحددة.
- لا يمكن لخطوط الحقل أن تتقاطع.
- يتناسب عددها في وحدة المساحة طردا مع شدة الحقل، فكلما زادت شدة الحقل تقاربت الخطوط أكثر، و العكس صحيح.
- تخرج خطوط الحقل من الشحنات الموجبة لتنتهي إلى الشحنات السالبة، أو إلى المالانهاية.



خطوط الحقل الكهربائي الناشئ عن (a) شحنة نقطية موجبة
(b) شحنة نقطية سالبة



خطوط الحقل الكهربائي الناشئ عن ثنائي قطب كهربائي