جامعة الموصل
كلية العلوم – قسم الفيزياء

المستوى الاول

المقرر 103

مبـادئ الكهربائية والمغناطيسية

الاستاذ الدكتور

ليث محمد الطعان

٢٠١٩-٢٠٢٠

Prof. Dr. Laith Al-Taan

الفصل الثاني
المجال الكهربائي

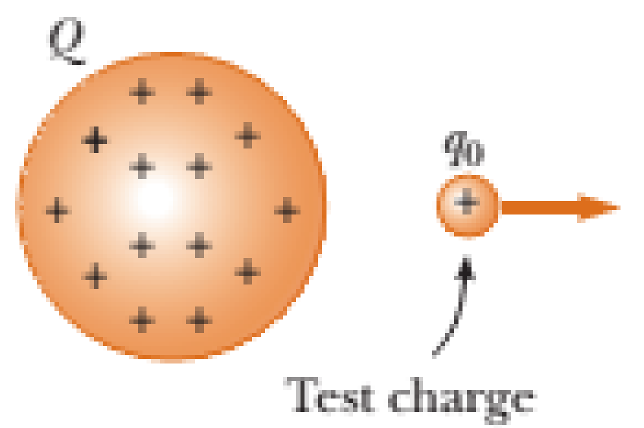
THE ELECTRIC FIELD

Michael Faraday (1791–1867) :

The electric field exerts an electric force on any other charged object within the field.

شدة المجال الكهربائى هي **القوة** المؤثرة **لوحدة الشحنة** على شحنة اختبارية عند نقطة معينة ضمن المجال.

A small object with a positive charge ***qo*** placed near an object with a larger positive charge **Q** is subject to an electric field directed as shown.



The **Electric Field,**

produced by a charge ***Q*** at the location of a small "test" charge ***qo*** is defined as **the electric force exerted by *Q* on *qo*, divided by the test charge *qo*.**

$$\vec{E} \equiv \frac{\vec{F}}{q_0}$$

- According طبقا لـ to Coulomb's law, the *magnitude* of the electric force of the charge *q* on the test char

$$F = k_e \frac{|q||q_0|}{r^2}$$

And as electric field at the position of the test charge is defined as

$$\text{field strength} = \frac{\text{force}}{\text{charge}}$$

اي **$E = F/q_o$,**

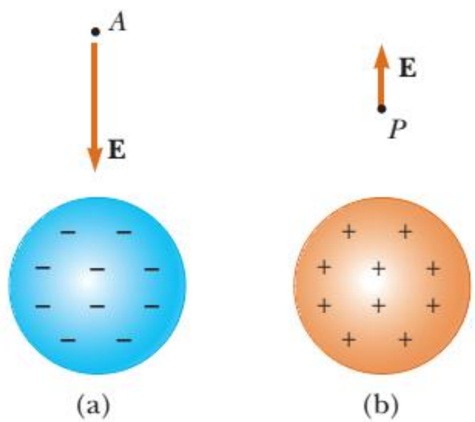
باعتبار الشحنة نقطية وصغيرة جدا

we see that the ***magnitude* of the electric field** due to the charge ***q*** at the position of ***qo*** is:

$$\boxed{E = k_e \frac{|q|}{r^2}}$$

The unit: **newton per coulomb (N/C)**

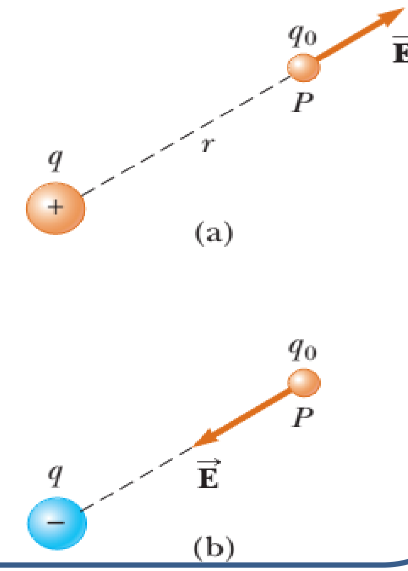
شدة المجال الكهربائي

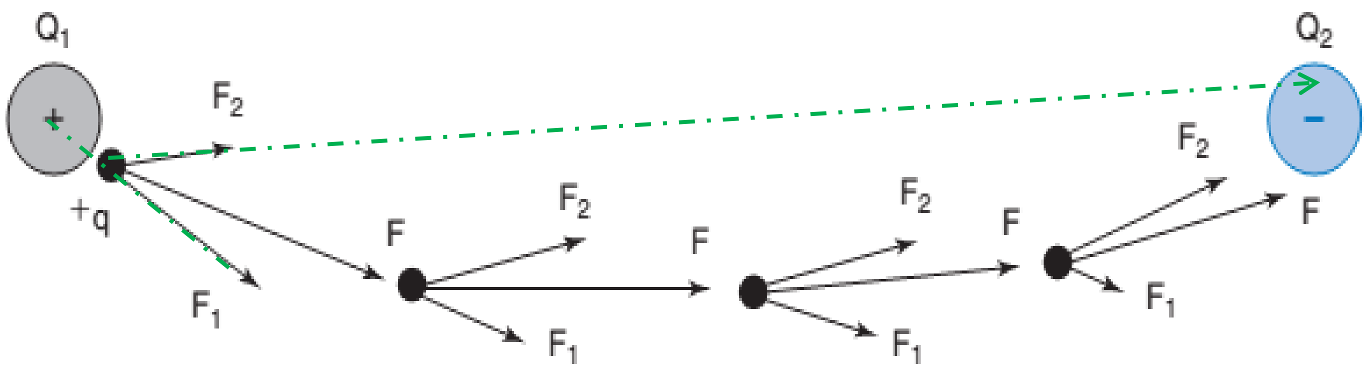


اتجاه المجال الكهربائي

(a) If +*q* **is positive**, the electric field at *P* points radially *outwards* from ***q***.

(b) (b) If -*q* **is negative**, the electric field at *P* points radially *inwards* toward ***q***.

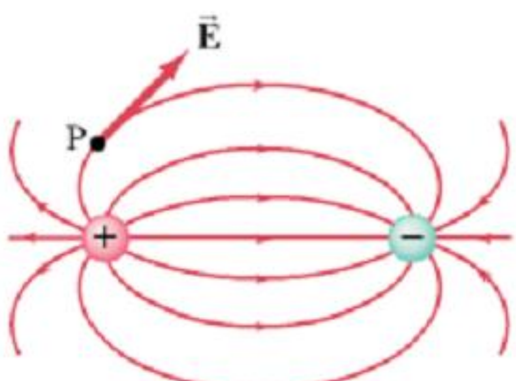




نفترض في الشكل اعلاه ان هناك جسيم صغير مشحون بشحنة موجبة بين شحنتين مختلفتين وانه اقرب لـ Q1 . ستكون قوة التنافر F1 اقوى كثيرا من قوة التجاذب F2 مع Q2 لبعد المسافة.

والان نفترض انه يمكن للجسيم ان يسير بحرية على مسار بين الشحنة الموجبة الى الشحنة السالبة. في خط يمثل المحصلة بين القوتين F.

ومع تغير المسافة تتناقص قيمة F1 فيما تتزايد قيمة القوة F2 تدريجيا مع الاقتراب من الشحنة السالبة. هذا مسار محصلة القوى هو خط شدة المجال الكهربائي.



ELECTRIC FIELD LINES خصائص خطوط المجال الكهربائي

1. The electric field $\mathbf{E}$ vector is tangent مماس to the electric field lines at each point

هذا المماس لخط المجال الوهمي يمثل اتجاه

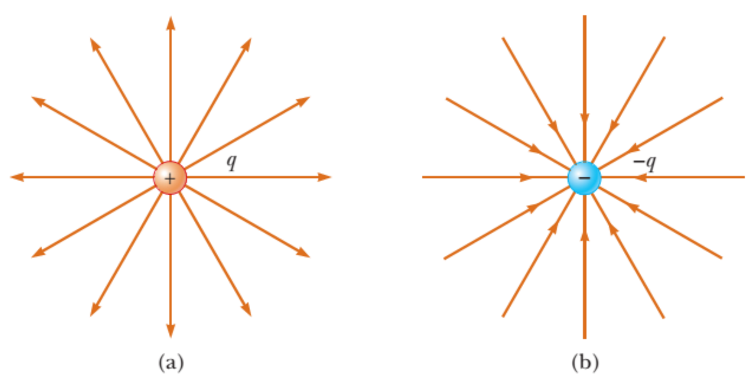
2. The number of lines per unit area through a surface perpendicular عمودية to the lines is proportional to the strength of the electric field $\mathbf{E}$ in a given region.

وهذه الخطوط لوحدة لمساحة تمثل شدة المجال الكهربائي

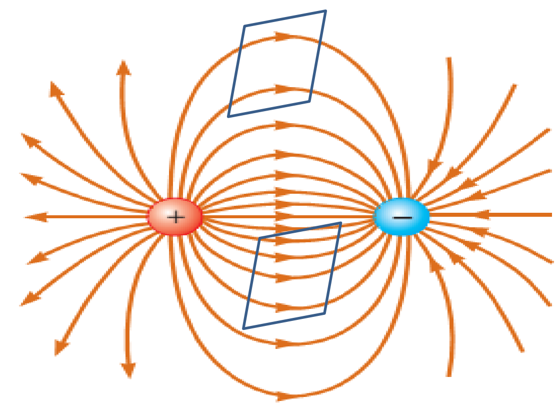
3. $\mathbf{E}$ is large when the field lines are close together and small when the lines are far apart.

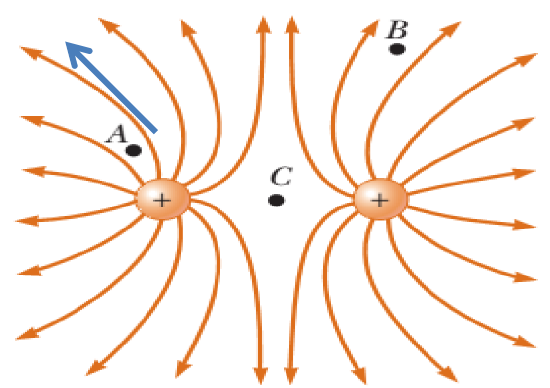
4. The number of lines drawn leaving تخرج من a positive charge or ending وتنتهي on a negative charge is proportional to the magnitude of the charge.

5. No two field lines can cross each other. لا تتقاطع الخطوط فيما بينها

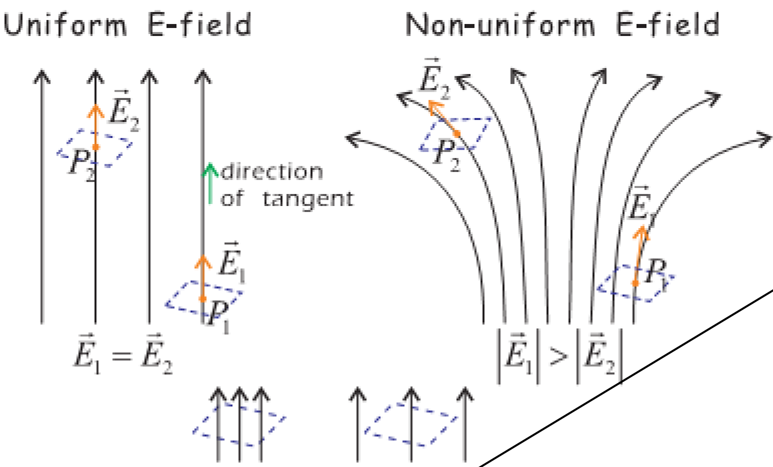


خطوط المجال تخرج من الشحنة الموجبة وتنتهي في الشحنة السالبة

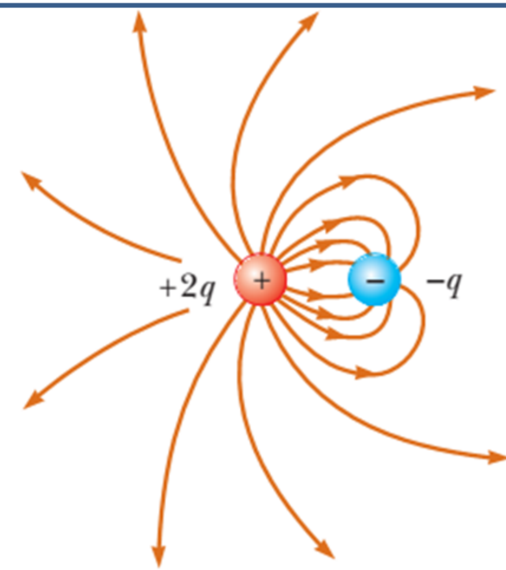




توزيع المجال المنتظم والمجال الغير منتظم



كثافة خطوط المجال تعتمد على ......؟



The electric field lines for a point charge of **2q** and a second point charge of **q**.

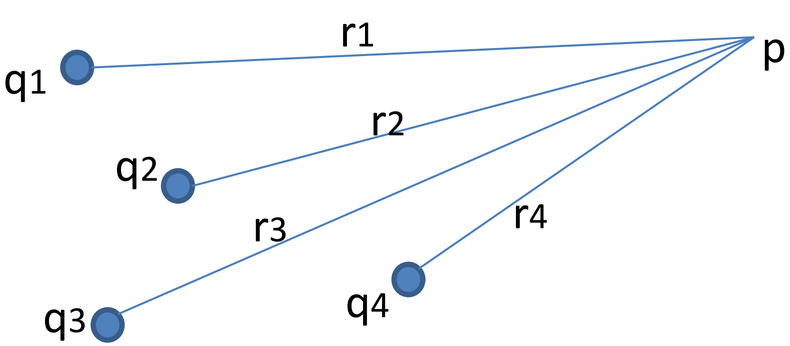
Note that two lines leave the charge 2q for every line that terminates on q.

Calculation of Electric Field $\mathbf{E}$

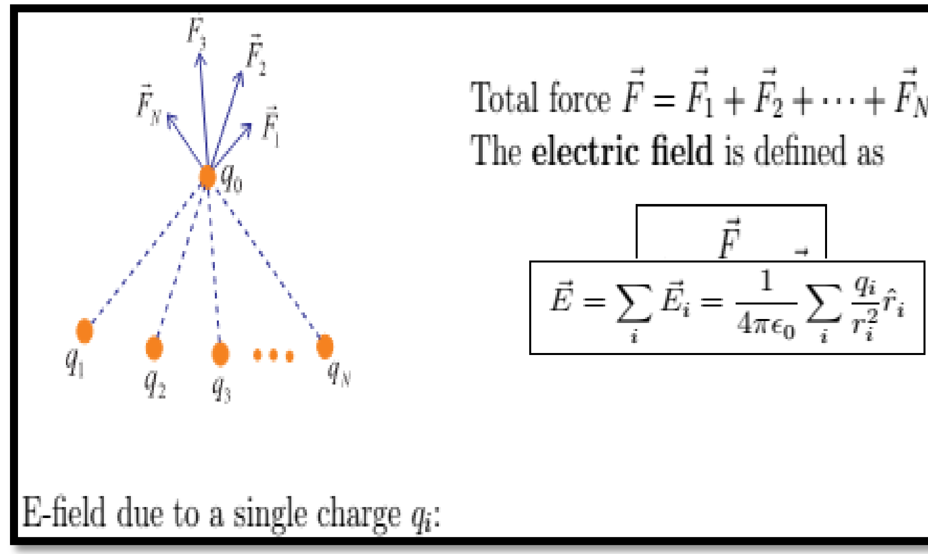
To calculate the $\mathbf{E}$ for many point charges q1, q2, q3, ...at r1, r2, r3, ...from *p* as shown in figure.

We have to calculate the E1, E2, E3, ...for each charge alone.

Then the total $\mathbf{E}$ is the sum for all charges.



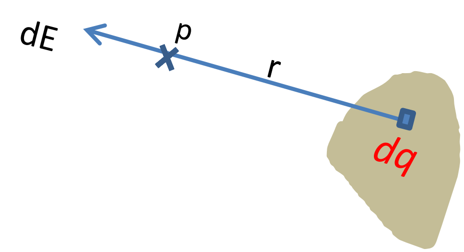
$\mathbf{E} =$ E1+ E2+ E3+E4



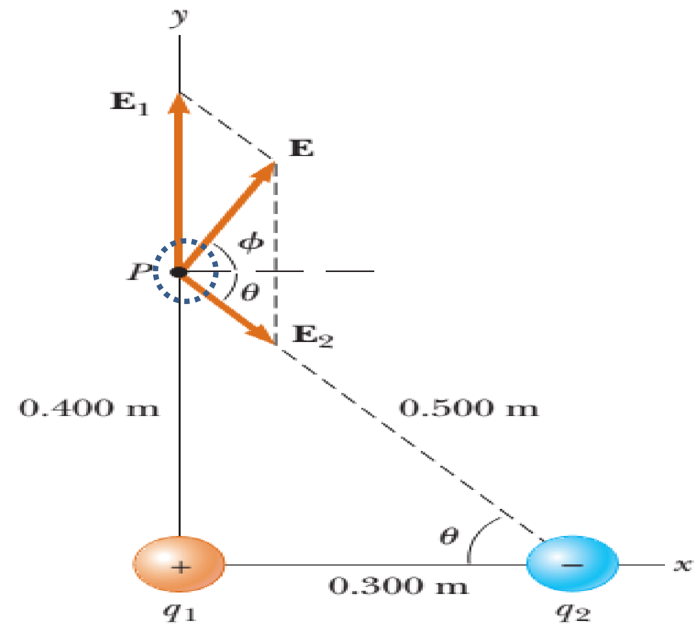
But if we have continuous charges distribution اي ان توزيع الشحنة متصلا

It must chose an element ***dq*** as a point charge, then the $\mathbf{E}$ can be calculated from *p* as shown in figure.

$$\mathbf{E} = \int dE = \frac{1}{4\pi\epsilon_o} \int \frac{dq}{r^2}$$



Problem:
Charge q1 = 7.00 μC is at the origin, and charge q2 = - 5.00 μC is on the x-axis, 0.300 m from the origin (Figure).
(**a**) Find the magnitude and direction of the electric field at point P, which has coordinates (0, 0.400) m.
(**b**) Find the force on a charge of 2×10^{-8} placed at P.



سنلاحظ ان اتجاه مركبة المجال من الشحنة الموجبة خارجا منها .
بينما اتجاه مركبة المجال للشحنة السالبة فيكون داخلا اليها

Solution

(a) Calculate the electric field at P.

Find the magnitude of $\vec{\mathbf{E}}_1$:

$$E_1 = k_e \frac{|q_1|}{r_1^2} = (8.99 \times 10^9 \ \mathrm{N \cdot m^2/C^2}) \frac{(7.00 \times 10^{-6} \ \mathrm{C})}{(0.400 \ \mathrm{m})^2}$$
$$= 3.93 \times 10^5 \ \mathrm{N/C}$$

The vector $\vec{\mathbf{E}}_1$ is vertical, making an angle of 90° with respect to the positive x-axis. Use this fact to find its components:

$$E_{1x} = E_1 \cos(90°) = 0$$
$$E_{1y} = E_1 \sin(90°) = 3.93 \times 10^5 \ \mathrm{N/C}$$

Next, find the magnitude of $\vec{\mathbf{E}}_2$,

$$E_2 = k_e \frac{|q_2|}{r_2^2} = (8.99 \times 10^9 \ \mathrm{N \cdot m^2/C^2}) \frac{(5.00 \times 10^{-6} \ \mathrm{C})}{(0.500 \ \mathrm{m})^2}$$
$$= 1.80 \times 10^5 \ \mathrm{N/C}$$

Obtain the x-component of $\vec{\mathbf{E}}_2$, using the triangle in Fig- to find $\cos\theta$:

$$\cos\theta = \frac{0.300}{0.500} = 0.600$$

$$E_{2x} = E_2 \cos\theta = (1.80 \times 10^5 \ \mathrm{N/C})(0.600)$$
$$= 1.08 \times 10^5 \ \mathrm{N/C}$$

Obtain the y-component in the same way, but a minus sign has to be provided for $\sin\theta$ because this component is directed downwards:

$$\sin\theta = \frac{0.400}{0.500} = 0.800$$

$$E_{2y} = E_2 \sin\theta = (1.80 \times 10^5\ \text{N/C})(-0.800)$$
$$= -1.44 \times 10^5\ \text{N/C}$$

Sum the x-components to get the x-component of the resultant vector:

$$E_x = E_{1x} + E_{2x} = 0 + 1.08 \times 10^5\ \text{N/C} = 1.08 \times 10^5\ \text{N/C}$$

Sum the y-components to get the y-component of the resultant vector:

$$E_y = E_{1y} + E_{2y} = 0 + 3.93 \times 10^5\ \text{N/C} - 1.44 \times 10^5\ \text{N/C}$$
$$E_y = 2.49 \times 10^5\ \text{N/C}$$

Use the Pythagorean theorem to find the magnitude of the resultant vector:

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2} = \boxed{2.71 \times 10^5\ \text{N/C}}$$

The inverse tangent function yields the direction of the resultant vector:

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{E_y}{E_x}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{2.49 \times 10^5\ \text{N/C}}{1.08 \times 10^5\ \text{N/C}}\right) = \boxed{66.6°}$$

(b) Find the force on a charge of 2.00×10^{-8} C placed at P.

Calculate the magnitude of the force (the direction is the same as that of $\vec{\mathbf{E}}$ because the charge is positive):

$$F = Eq = (2.71 \times 10^5\ \text{N/C})(2.00 \times 10^{-8}\ \text{C})$$
$$= 5.42 \times 10^{-3}\ \text{N}$$

الجزء الثاني نحسب القوة المؤثرة على الشحنة المفترضة في موقع النقطة P
ومن كلا الشحنتين . ولكن كنا اوجدنا محصلة المجال لكلا الشحنتين فنعوض بالمحصلة لهما

ما هو تأثير المجال على الجسيمات؟

لو وضع جسيم كتلته m يحمل شحنة داخل مجال E .

* يتأثر بقوة مقدارها **$F = q E$**

* وفي الوقت نفسه يسير الجسيم بتعجيل ثابت مقداره **$a = F/m$**

* **اذن يمكن القول** **$F = q E = m a$**

* فاذا كان الجسم المشحون وضع **ساكنا** في مجال منتظم تكون سرعته الابتدائية **$v_o = 0$**

وتحسب سرعته بعد زمن t حسب من العلاقة التالية:

$v = v_o + at$ اي **:** **$v = qE\,t/m$**

* وان المسافة التي يمكن ان يقطعها في نفس الزمن t داخل المجال المنتظم هي**:**

$$y = v_o t + \frac{at^2}{2}$$

وعندما السرعة الابتدائية تساوي صفر فان المسافة تكون $y = \frac{qEt^2}{2}$

Point Charge in E-field

When we place a charge q in an E-field E, the force exerted by the charge is: $\boxed{F = q\,E = m\,a}$

Applications: *Ink-jet printer, TV cathode ray tube.*

Example: Ink particle has mass ***m***, charge ***q***. Assume that mass of ink-drop is small, what's the deflection *d* of the charge?

Solution: ان حركة الشحنة (او الالكترون) ستكون مشابهة لحركة جسيم مقذوف افقيا في مجال الجاذبية الارضية.

اذن يمكن اعتبار حركة الشحنة ذات مركبتين افقية ذات سرعة ثابتة باتجاه محور x واخرى عمودية باتجاه y بتعجيل ثابت

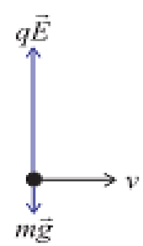
.

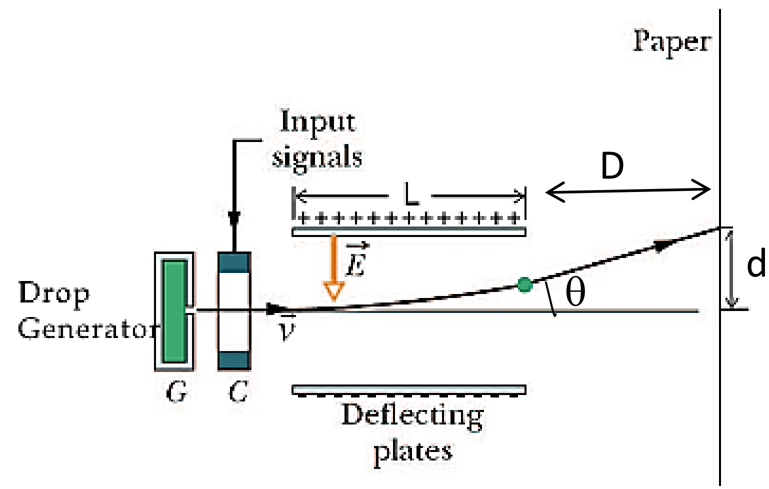
First, let the charge carried by the ink-drop is *negative*,

Horizontal motion: تتعادل القوى المؤثرة على الجسيم فتكون محصلتها

Net force = 0

$\therefore x = v\,t$





Vertical motion: $y = \dfrac{at^2}{2} = \dfrac{eE\ t^2}{2m}$

$$y = \frac{eE\ x^2}{2m\ v^2}$$

و هذه المعادلة تمثل مسار الالكترونات في المجال الكهربائي. وهي معادلة قطع مكافئ

ولحساب زاوية الانحراف :

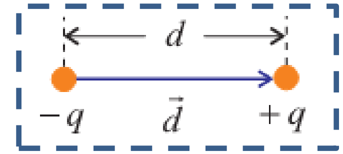
$$\tan\theta = \frac{dy}{dx} = \frac{2eEx}{2mv^2}\Big|_{x=L} = \frac{eEL}{mv^2}, \quad .....(1)$$

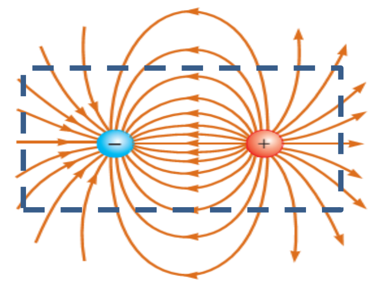
كذلك من الرسم $\quad \tan\theta \cong \dfrac{d}{D}, ...(2)$

ا the deflection of the charge is : $\quad d = \dfrac{eELD}{mv^2}$

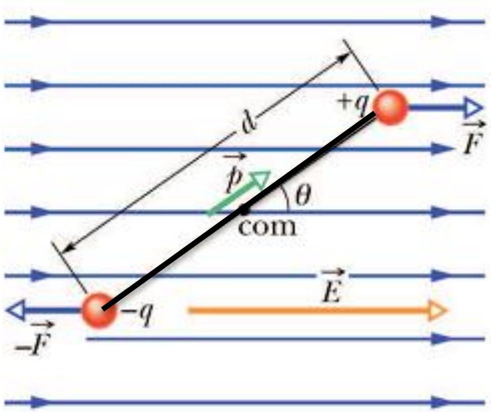
Electric Field duo to Electric Dipole

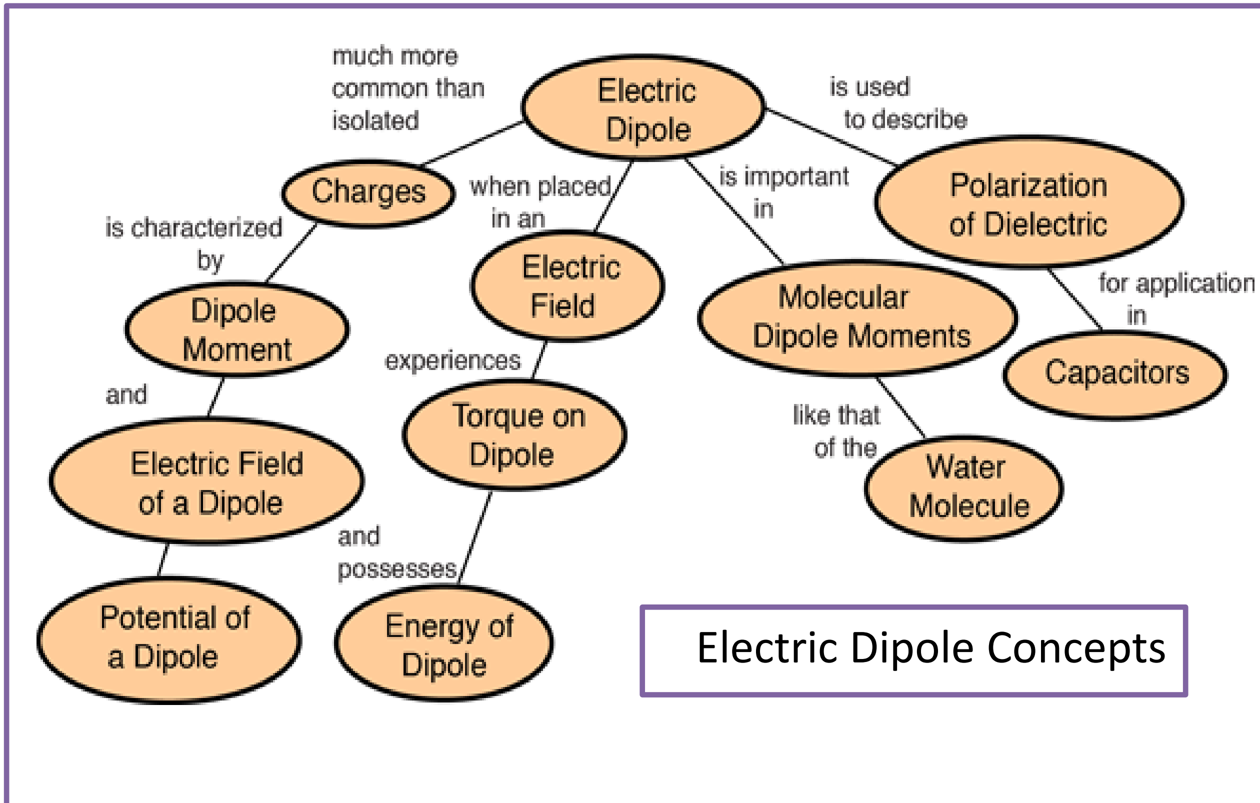
Electric Dipole : System of *equal and opposite* charges separated by a distance ***d***.
The number of lines that begin at the positive charge must equal the number that terminate at the negative charge.





Dipole in E-field

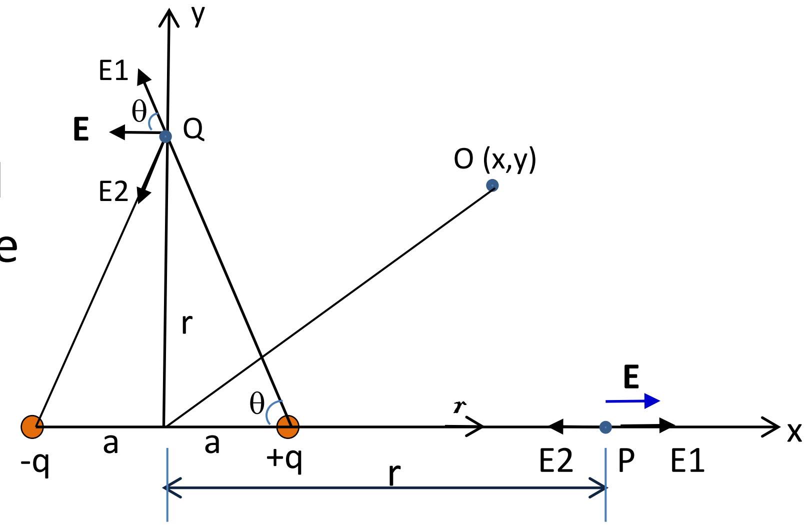




المجال الكهربائى الناشئ عن ثنائى القطب

Example:

Find (E) duo to a electric diploe at the point **P** and at the point **Q** then in the point **O**. as shown in the figure.



At point P the (E) duo to +q $\vec{E}1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_o}\frac{q}{(r-a)^2}\hat{r}$

At point P the (E) duo to –q.: $\vec{E}2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_o}\frac{-q}{(r+a)^2}\hat{r}$

واما المحصلة فتنتج من حاصل جمعها اتجاهيا: $\vec{E} = \vec{E}1 + \vec{E}2$

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_o}\left[\frac{q}{(r-a)^2} - \frac{q}{(r+a)^2}\right]$$

$$\vec{E} = \frac{q}{4\pi\epsilon_o}\left[\frac{4ra}{(r^2-a^2)^2}\right]$$

ويتضح ان المجال الكهربائي E عند النقطة P يقع على امتداد محور ثنائي القطب ويكون باتجاه x

واذا فرضنا ان المسافة بين الشحنتين صغيرة جدا بالمقارنة مع المسافة الى النقطة P اي كانت r <<a فيمكن اهمال a^2 فنحصل على $\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_o}\left[\frac{4aq}{r^3}\right]$ ويمكن كتابتها بشكل

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_o}\left[\frac{2p}{r^3}\right]$$

حيث p=2a

وهو عزم ثنائي القطب الكهربائي electric dipole moment