المجال الكهربائي
The Electric Field

المجال الكهربي: هو عبارة عن المنطقة المحيطة بالشحنة الكهربية وتظهر خلالها نفوها الكهربية، بمعني ان أي شحنة كهربية اختبارية تتواجد في هذه المنطقة فسوف تؤثر عليها الشحنة الاصلية بقوة كهربية.

يعرف شدة المجال الكهربي عند نقطة في الفراغ بانه كمية متجهة تساوي مقدار القوة التي وحدة الشحنات الموجبة عند تلك النقطة. يمكن صياغة هذا على النحو التالي:

$$\mathbf{E} \equiv \frac{\mathbf{F}_e}{q_0}$$

وحدة شدة المجال الكهربي هي N/C .

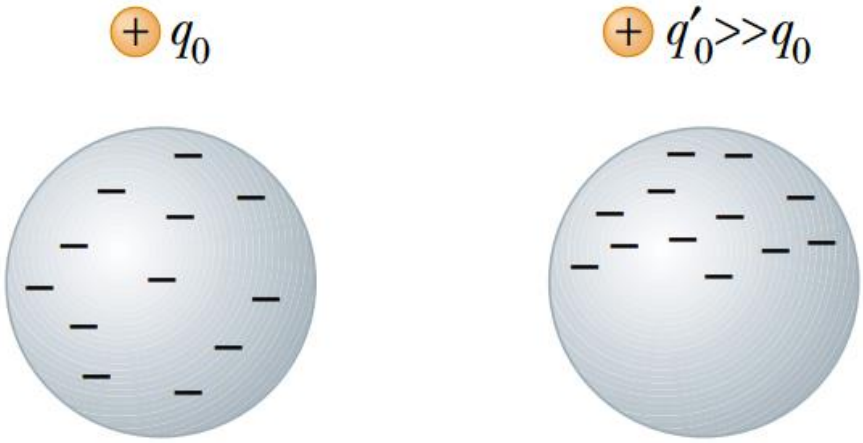
يجب ان نلاحظ ان هذا المجال قد يكون ناتج عن شحنة منعزلة او مجموعة من الشحنات او توزيع شحني معين وانه ليس مجال ناشيء من الشحنة الاختبارية ولابد ان تكون الشحنة الاختبارية متناهية في الصغر حتي لا تؤثر على الشحنات المسببة للمجال ولا لتوزيع الشحنات.

من المعادلة السابقة يمكن صياغة القوة بانها

$$\mathbf{F}_e = q\mathbf{E}$$

هنا نستطيع استخدام q مباشرة وبالتالي بمعلومية المجال عند نقطة يمكن حساب القوة التي يؤثر بها على شحنة q موضوعة عند تلك النقطة.

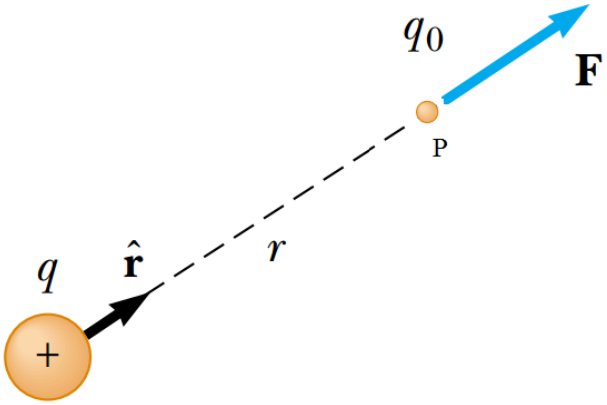
يوضح الشكل التالي ماذا يحدث اذا كانت الشحنة الاختبارية كبيرة وتقارن بالشحنة المسببة للمجال



الجدول التالي يوضح بعض المجالات الكهربية مقدرة ب N/C

Typical Electric Field Values	
Source	***E* (N/C)**
Fluorescent lighting tube	10
Atmosphere (fair weather)	100
Balloon rubbed on hair	1 000
Atmosphere (under thundercloud)	10 000
Photocopier	100 000
Spark in air	>3 000 000
Near electron in hydrogen atom	5×10^{11}

المجال الكهربي الناتج عن شحنة نقطية:



ولإيجاد المجال الكهربائي E الناتج عن شحنة نقطية q، عند نقطة مثل p تبعد عن الشحنة مسافة r، كما في الشكل (2). نفترض وجود شحنة اختبار موجبة صغيرة، مثل q_0 في النقطة. ثم نحسب القوة التي تؤثر بها الشحنة q على شحنة الاختبار q_0، و أخيراً نقسم القوة F على q_0 لإيجاد قيمة E.

$$F = K\frac{q\,q_0}{r^2}\hat{r}$$

حيث تمثل $\hat{r}$ وحدة متجهات باتجاه r، أي أن

$$\hat{r} = \frac{\vec{r}}{|r|}$$

و لإيجاد المجال الكهربائي نعوض قيمة F في المعادلة (1).

$$E = \frac{F}{q_0} = K\frac{q}{r^2}\hat{r}$$

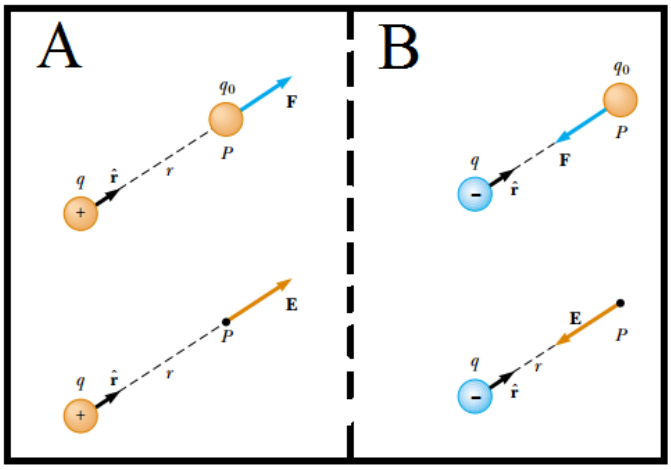
من هنا نلاحظ ان:

1- المجال E لا يعتمد على مقدار الشحنة الاختبارية q_0، و إنما يعتمد على الشحنة q (مصدر المجال)، و على المسافة r (التي تحدد مكان النقطة المراد حساب المجال عندها).

2- يكون اتجاه المجال E الناتج عن شحنة موجبة هو اتجاه r (مثل اتجاه القوة F) يكون اتجاه المجال E الناتج عن شحنة سالبة يكون عكس اتجاه r.

اتجاه المجال الكهربي:

يُعرف اتجاه المجال الكهربي بأنه اتجاه القوى المؤثرة على شحنة الاختبار الموجبة كما يسمى مسار هذه الحركة بخط القوة الكهربيه *Line of force* وهى خطوط وهمية تستخدم لوصف المجال الكهربي مقداراً واتجاهاً.



الشكل يوضح القوة الكهربية والمجال لكلاً من الشحنة الموجبة (A) والشحنة السالبة (B)

الصيغة الرياضية للقوة بين شحنتين والمجال عند نقطة:

$$\mathbf{F} = k \frac{q q_0}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$$

$$\mathbf{E} = k \frac{q}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$$

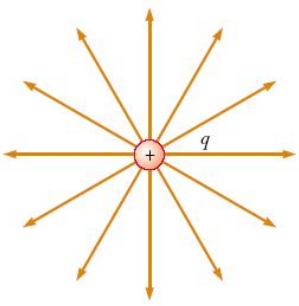
وفي حالة وجود عدد من الشحنات النقطية هنا يمكن ايجاد المجال الكهربي عند نقطة نتيجة عدد من الشحنات النقطية بالصيغة:

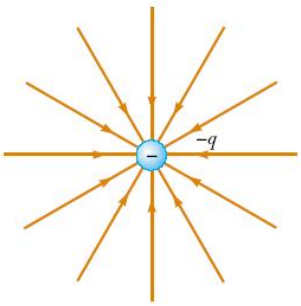
$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 + \mathbf{E}_3 + \text{etc}$$

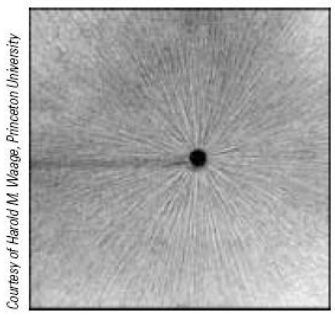
$$\mathbf{E} = k_e \sum_i \frac{q_i}{r_i^2} \hat{\mathbf{r}}_i$$

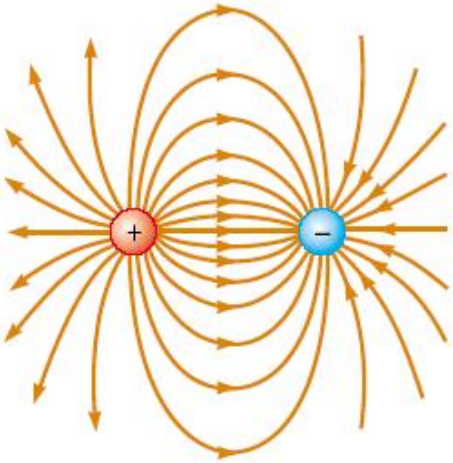
والتي تعني ان المجال الكهربي عند نقطة نتيجة عدد من الشحنات يساوي المجموع الاتجاهي لمجموعة المجالات الناتجة عن كل شحنة على حدي عند تلك النقطة. ستوضح الامثلة التالية هذا المفهوم بشكل افضل

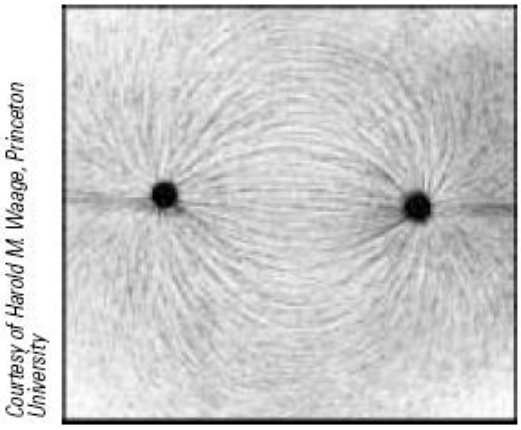
Quick Quiz 23.6 A test charge of $+3\ \mu$C is at a point P where an external electric field is directed to the right and has a magnitude of 4×10^6 N/C. If the test charge is replaced with another test charge of $-3\ \mu$C, the external electric field at P (a) is unaffected (b) reverses direction (c) changes in a way that cannot be determined

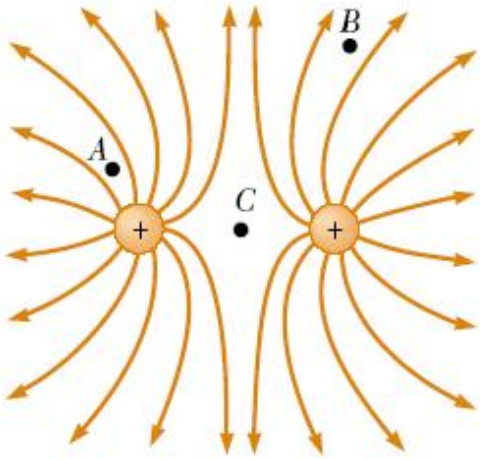


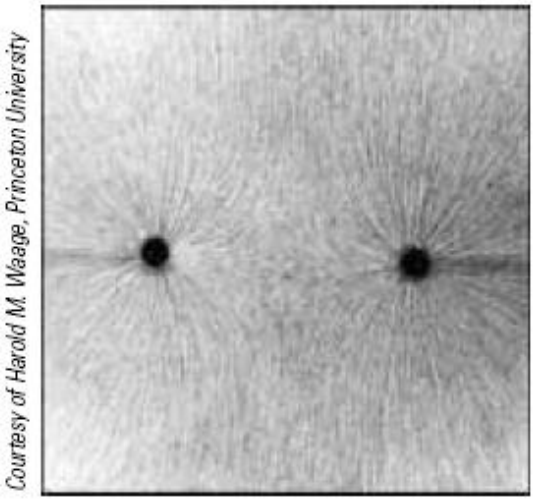










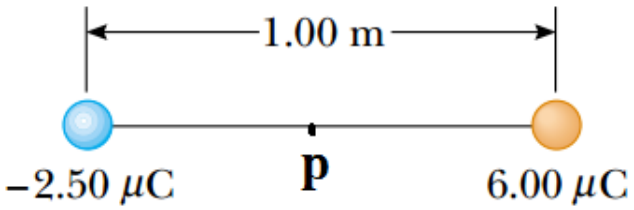


خصائص خطوط المجال الكهربي:

- يبدأ خط المجال من الشحنة الموجبة وينتهي عند الشحنة السالبة
- في حالة الشحنة المعزولة (واحدة) تنتهي الخطوط في مالانهاية
- ترسم خطوط المجال باسهم تخرج من الشحنة الموجبة وتدخل للشحنة السالبة وعدد الخطوط يتناسب مع مقدار المجال الكهربي .
- اتجاه المجال عند تي نقطة يمثل بمتجة المماس للمجال عند تلك النقطة
- لا تتقاطع خطوط المجال مهما زاد عددها.

مثال 1 :

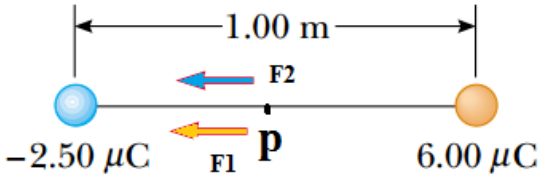
اوجد المجال الكهربي عند النقطة p في منتصف المسافة بين الشحنتين كما فى الشكل التالي:



الحل:

نفترض ان هناك شحنة اختبارية موجبة مقدارها الوحدة عند نقطة p . هناك مجال E1 نتيجة الشحنة الموجبة (6mC) ومجال E2 نتيجة الشحنة السالبة (-2.5mC) وبالتالي يكون المجال عبارة عن المجموع الاتجاهي للمجالين.

$$\mathbf{E}_p = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2$$



كما يتضح من الشكل ان كلا القوتين يتجهان الي المحور السيني السالب (اليسار)

$$E_p = E_1 + E_2$$

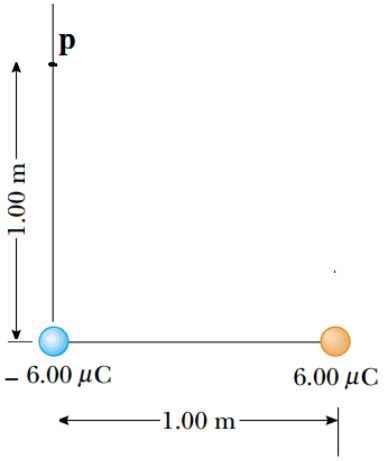
$$= K\frac{q_1}{r_1^2} + K\frac{q_2}{r_2^2} =$$

$$= 9\times10^9 \times\left(\frac{6\times10^{-6}}{(0.5)^2} + \frac{2.5\times10^{-6}}{(0.5)^2}\right)$$

$$= 3*10^5\ N/C$$

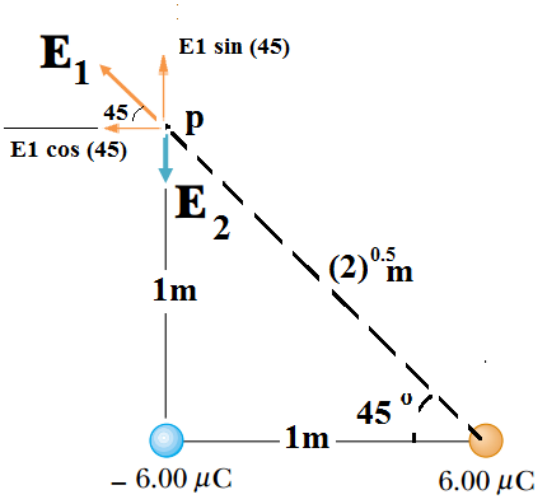
مثال 2 :

اوجد المجال الكهربي عند النقطة p في على المحور الصادي كما فى الشكل التالي:



الحل:

اولا يجب تمثيل اتجاه المجالات الكهربية الصادرة عن كل شحنة ثم تحليل المتجهات التي تصنع زوايا مع المحاول ووضع كل متجة في الصورة الرياضية الخاصة به (مركبة سينية واخري صادية) ثم جمع المتجهين.



الشكل التالي يوضح المتجهات على الرسم

وحيث ان المثلث متساوي الساقين فإن الزاوية التي يصنعها E1 مع المحور السيني السالب تساوي 45

$\mathbf{E}1=-E1\cos(45)\,i + E1\cos(45)\,j$

$\mathbf{E}2= -E2\,j$

$\mathbf{E}p= (-E1\cos(45))\,i +(E1\sin(45)-E2)\,j$

$E_1=9*10^9*6*10^{-6}/(2^{0.5})^2=2.7*10^4$ N/C

$E_2=9*10^9*6*10^{-6}/(1)^2 = 5.4*10^4$ N/C

$\mathbf{E}p= -1.91*10^4\,i +(1.91*10^4 – 5.4*10^4)\,j$

$\mathbf{E}p= -1.91*10^4\,i – 3.49*10^4\,j$

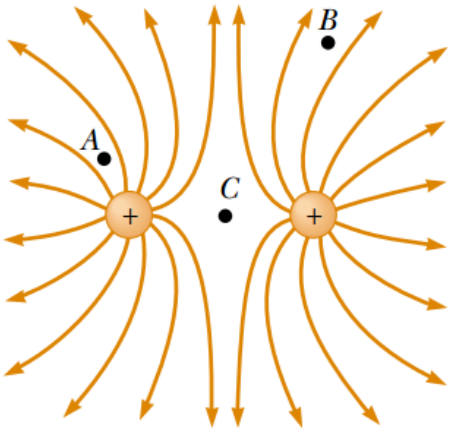
مقدار المجال واتجاهه

$Ep = (Ex^2 +Ey^2)^{0.5} = ((-1.91*10^4)^2 +(-3.49*10^4)^2)^{0.5} = 3.98*10^4$ N/C

$\theta=\tan^{-1}(E_y/E_x)= \tan^{-1}(-3.49*10^4/-1.91*10^4)= \tan^{-1}(1.83)= 61.3º$

وتقع في الربع الرابع بين المحور السيني السالب والصادي السالب.

مثال 3 :



رتب تصاعدياً حسب قيمة شدة المجالات للنقاط A, B , C الموضحة بالرسم مع شرح السبب.

واجب