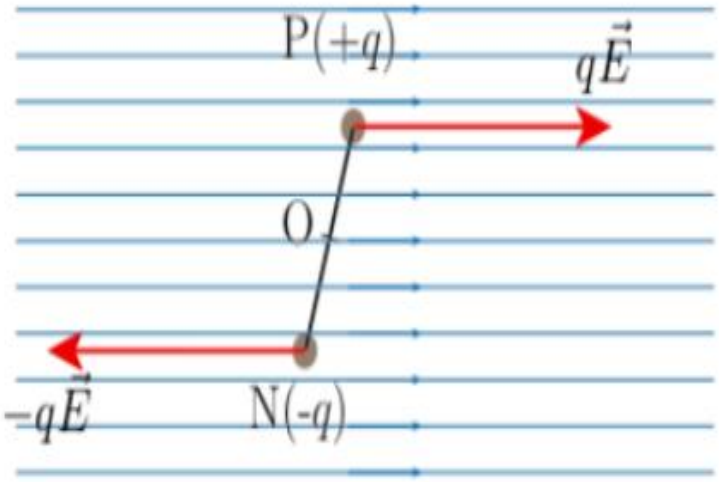
F.BABAG

La Machine de Wimshurst



الكهرباء الساكنة
I/(ELECTROSTATIQUE)

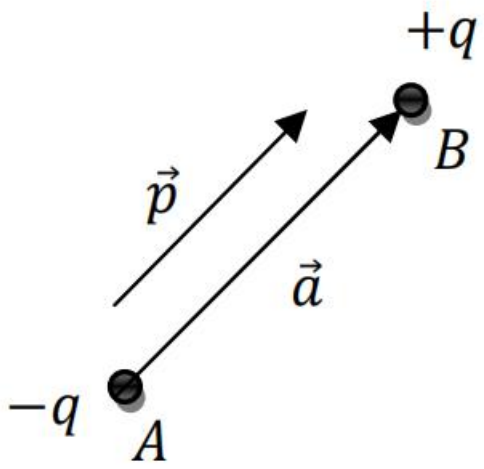
7) ثنائي القطب الكهربائي (الكهروستاتيكي)

الدكتورة باباغيو ف

مقياس: الكهرباء1 - ف122 - السنة أولى علوم دقيقة

7) ثنائي القطب الكهربائي (الكهروستاتيكي)

7) ثنائي القطب الكهربائي (الكهروستاتيكي)

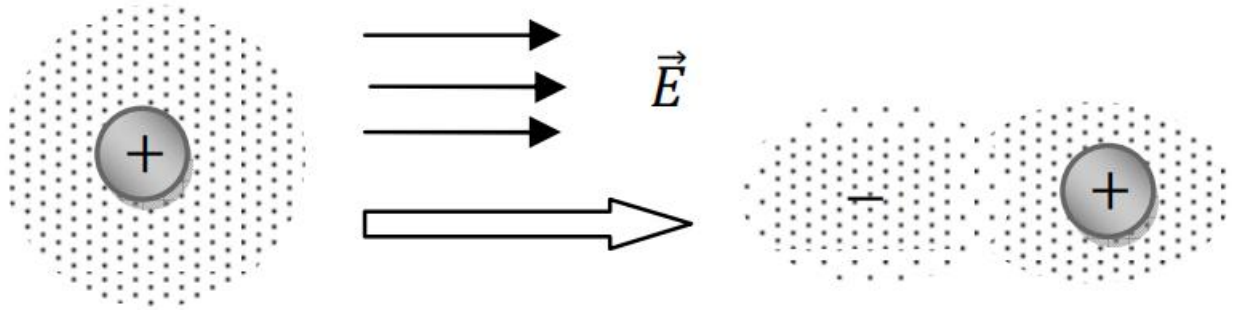


يتكون ثنائي القطب (*dipôle électrostatique*) من شحنتين متساويتين في القيمة و مختلفتين في الإشارة $+q$ و $-q$، و تبعدان عن بعضهما بمسافة صغيرة a. نعرف العزم الكهربائي لثنائي القطب (*moment dipolaire électrique*):

$$\vec{p} = q\vec{a} = q\overrightarrow{AB} \qquad (14)$$

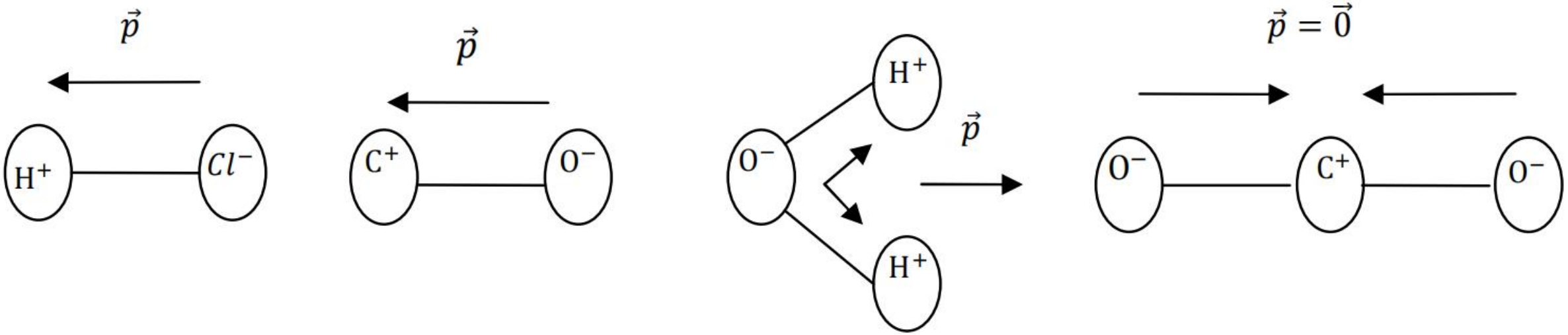
7) ثنائي القطب الكهربائي (الكهروستاتيكي)

دراسة ثنائي القطب لها أهمية كبرى في دراسة الذرات أو الجزيئات الموضوعة في حقل كهربائي خارجي، حيث ينزاح مركز ثقل الذرات بمسافة عن النواة، فتستقطب و تسلك سلوك ثنائي القطب.



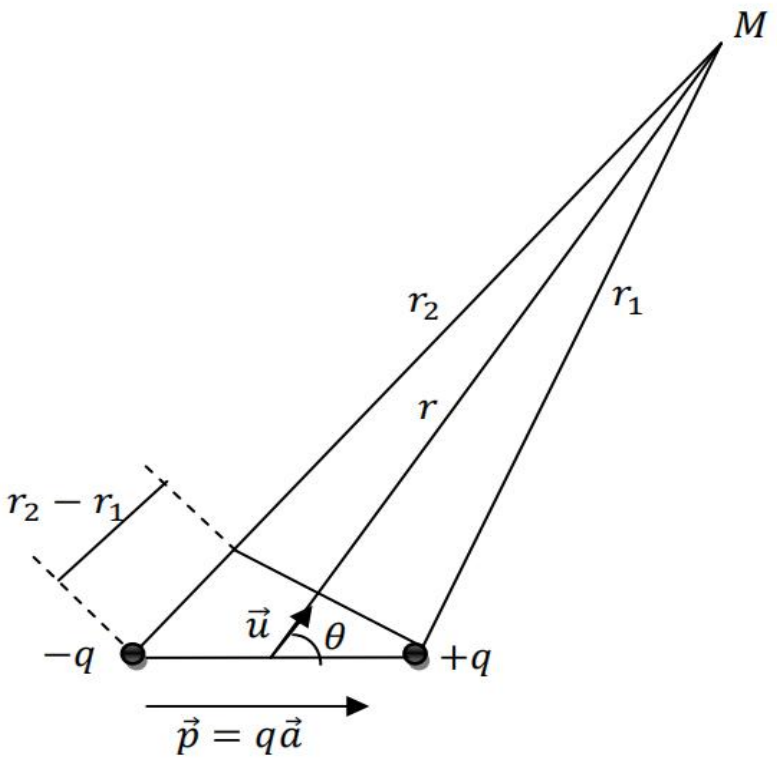
7) ثنائي القطب الكهربائي (الكهروستاتيكي)

بعض الجزيئات في الطبيعة، تظهر في غياب الحقل الكهربائي الخارجي كأنها أقطاب دائمة تدعى جزيئات قطبية مثل: HCl، CO، H_2O، CO_2.



7) ثنائي القطب الكهربائي (الكهروستاتيكي)

11.1 الكمون و الحقل الكهربائيان الناشئان عن ثنائي القطب على مسافة بعيدة



يكتب الكمون الناشئ عن ثنائي القطب في النقطة M بعيدة جدا أمام المسافة بين الشحنتين a:

$$V(M) = k\left(\frac{q}{r_1} - \frac{q}{r_2}\right) = kq\left(\frac{r_2 - r_1}{r_1 r_2}\right)$$

بما ان $a \ll r$ يمكن استعمال بعض التقريبات:

$$r_1 r_2 \simeq r^2$$
$$r_2 - r_1 \simeq a\cos\theta$$

فتصبح المعادلة السابقة كما يلي:

$$V(M) = \frac{kqa\cos\theta}{r^2} = \frac{kp\cos\theta}{r^2} = \frac{k\vec{p}.\vec{u}}{r^2} = \frac{k\vec{p}.\vec{r}}{r^3} \qquad (15)$$

7) ثنائي القطب الكهربائي (الكهروستاتيكي)

$$V(M) = \frac{kqa\cos\theta}{r^2} = \frac{kp\cos\theta}{r^2} = \frac{k\vec{p}.\vec{u}}{r^2} = \frac{k\vec{p}.\vec{r}}{r^3} \qquad (15)$$

نستعمل الإحداثيات القطبية لاستنتاج مركبات الحقل الكهربائي:

$$\vec{E} = -\overrightarrow{grad}V \Longrightarrow \begin{cases} E_r = -\dfrac{\partial V}{\partial r} = \dfrac{k2p\cos\theta}{r^3} \\ E_\theta = -\dfrac{1}{r}\dfrac{\partial V}{\partial \theta} = \dfrac{kp\sin\theta}{r^3} \end{cases} \qquad (16)$$

7) ثنائي القطب الكهربائي (الكهروستاتيكي)

إيجاد معادلة خطوط الحقل:

$$\vec{E} \times d\vec{l} = \vec{0}$$

حيث $d\vec{l}$ عنصر تفاضل من خط الحقل يكتب في الإحداثيات القطبية:

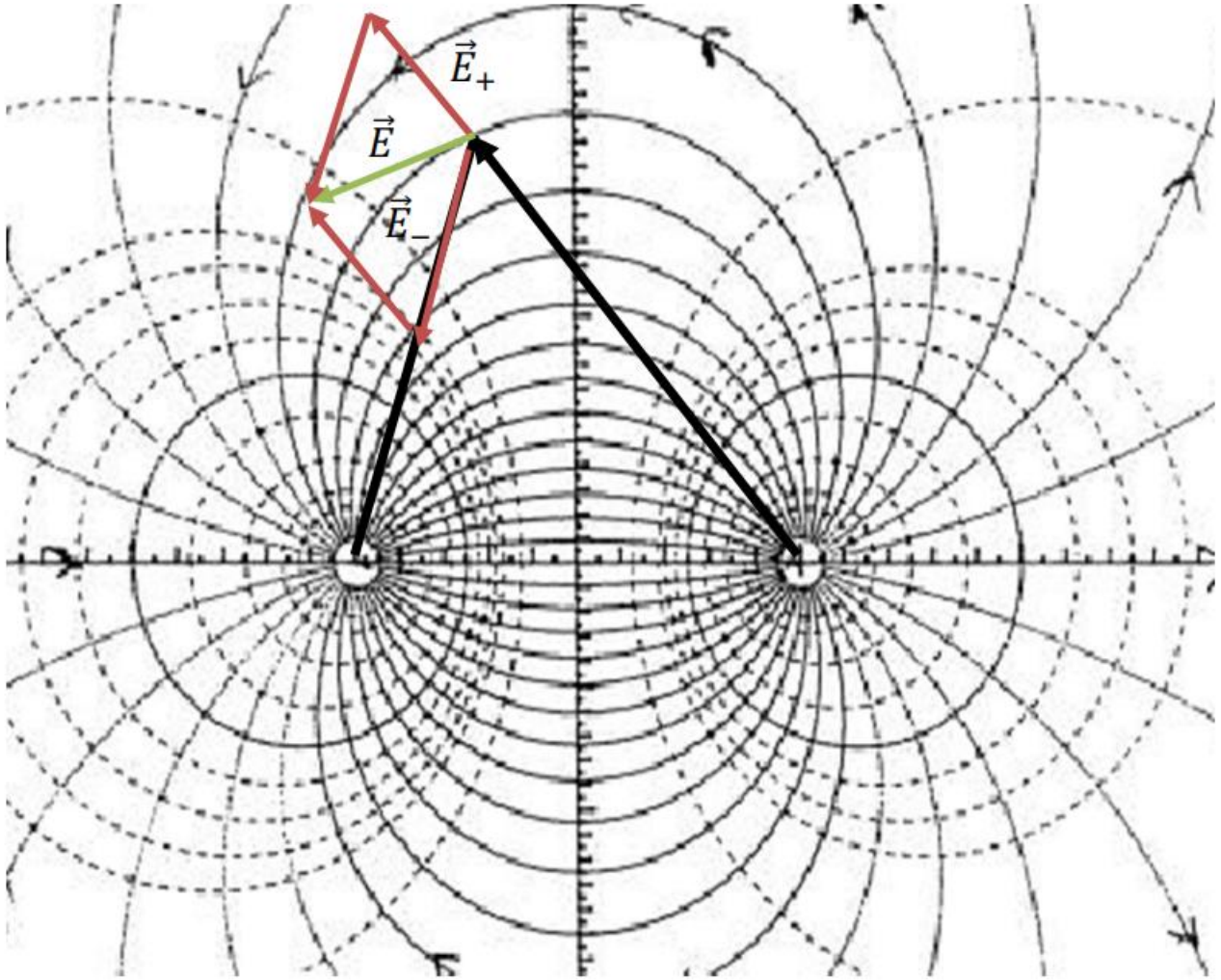
$$d\vec{l} = dr\vec{u}_r + rd\theta\vec{u}_\theta \Longrightarrow \vec{E} \times d\vec{l} = (E_r rd\theta - E_\theta dr)\vec{u}_z = \vec{0}$$

$$\Longrightarrow \frac{k2p\cos\theta}{r^3}rd\theta = \frac{kp\sin\theta}{r^3}dr \Longrightarrow \frac{dr}{r} = 2\frac{\cos\theta}{\sin\theta}d\theta = 2\frac{d\sin\theta}{\sin\theta}$$

حل هذه المعادلة التفاضلية هو: $r = c\sin^2\theta$

بالنسبة لخطوط سويات الكمون:

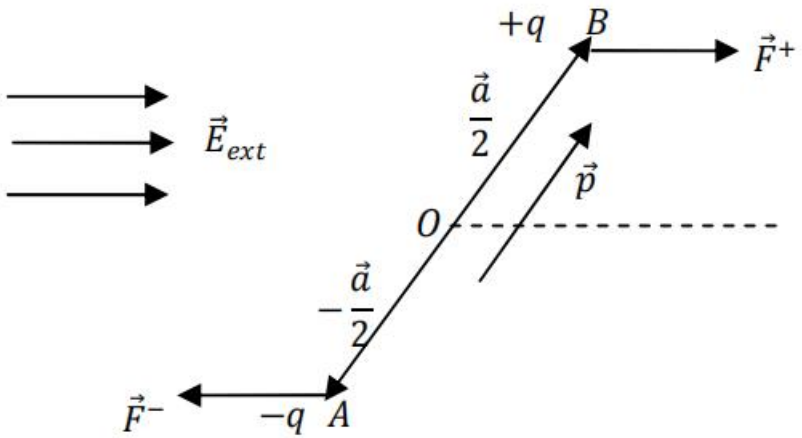
$$V(r,\theta) = cst = V_0 \Longrightarrow \frac{kp\cos\theta}{r^2} = V_0 \Longrightarrow r = \sqrt{\frac{kp}{V_0}}\sqrt{\cos\theta}$$



خط الحقل
سوية الكمون

12.1 ثنائي القطب الموضوع في حقل كهربائي خارجي منتظم

ليكن ثنائي القطب في وجود حقل كهربائي خارجي منتظم $\vec{E}_{\text{ext}}$. تتأثر شحنتا ثنائي القطب بمزدوجة (*couple*) $\left(\vec{F}^{+},\vec{F}^{-}\right)$ تسعى لتدويره حول مركزه $'O'$ إلى أن يشغل موضع التوازن، عزم هذه المزدوجة حول المركز $'O'$:

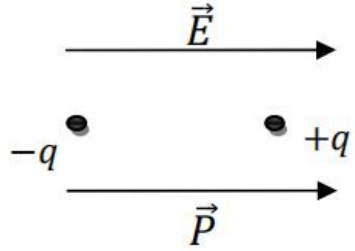


$$\vec{L} = \vec{L}^{+} + \vec{L}^{-} = \frac{\vec{a}}{2} \times \vec{F}^{+} - \frac{\vec{a}}{2} \times \vec{F}^{-}$$

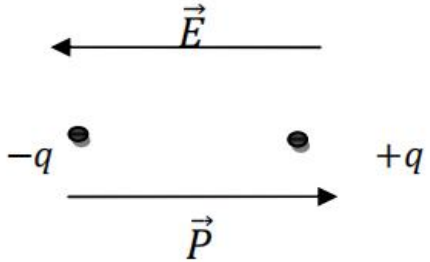
$$= \frac{\vec{a}}{2} \times \left(q\vec{E}_{ext} + q\vec{E}_{ext}\right) = q\vec{a} \times \vec{E}_{ext}$$

$$\vec{L} = \vec{p} \times \vec{E}_{ext} \qquad (17)$$

يتوازن ثنائي القطب من أجل $\vec{L} = \vec{0}$، أي عندما يكون: $\vec{p}\ //\ \vec{E}_{ext}$.



$E_p < 0$ وضع توازن مستقر $(stable)$



$E_p > 0$ وضع توازن غير مستقر $(instable)$

لنحسب الطاقة الكامنة الكهروستاتيكية للتفاعل بين ثنائي القطب و الحقل الخارجي (لا نقصد به الطاقة بين الشحنة $+q$ و $-q$ لثنائي القطب نفسه) نعتبر ثنائي القطب كنظام واحد مكون من شحنة $-q$ في النقطة A و $+q$ في النقطة B:

$$E_p = -qV_{ext}(A) + qV_{ext}(B) = q\big(V_{ext}(B) - V_{ext}(A)\big) = q\int_A^B dV$$

$$= -q\int_A^B \vec{E}_{ext}\,.\,d\vec{r} = -q\vec{E}_{ext}.\overrightarrow{AB} = -q\overrightarrow{AB}.\vec{E}_{ext}$$

$$E_p = -\vec{p}.\vec{E}_{ext} \qquad (18)$$

شكرا على المتابعة