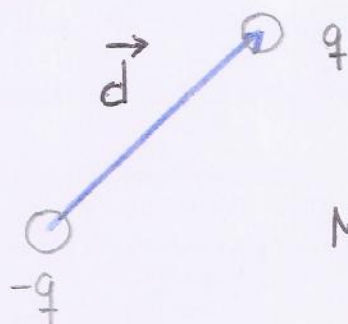


Efecto de un campo eléctrico sobre un Dipolo Eléctrico

(A)



$q > 0$

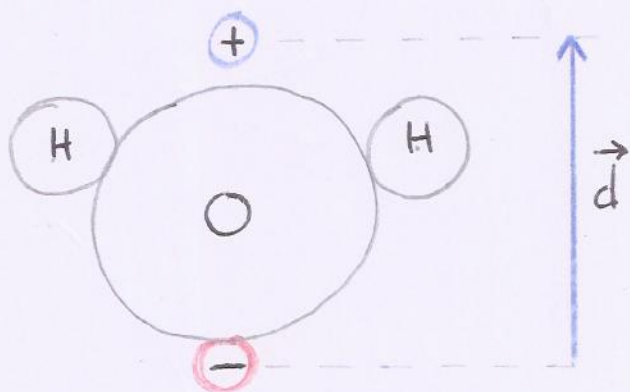
Definición:

Momento dipolar eléctrico $\vec{P}$

$$\vec{P} = q \vec{d} \quad (q > 0)$$

Ejemplo

Molécula de H_2O ($P = 6.13 \times 10^{-30} C \cdot m$)

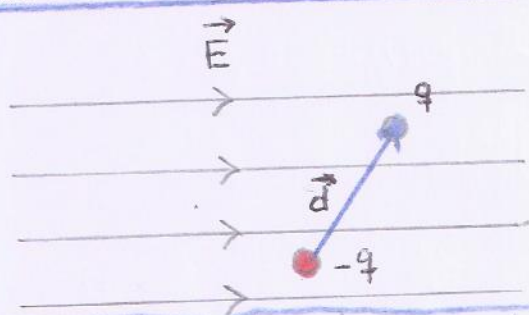


Los enlaces químicos dentro de la molécula

$\Rightarrow$ { carga neta negativa en el extremo del oxígeno y carga neta positiva en el extremo de los hidrógenos

Sin embargo, la carga total de la molécula es cero.

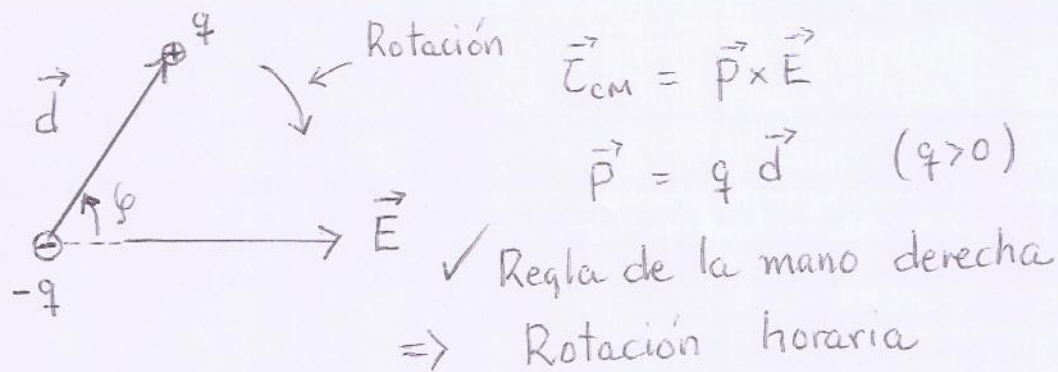
Cinemática de un Dipolo Eléctrico en un $\vec{E}$ constante



$$\begin{aligned} \vec{F}_q &= q \vec{E} \\ \vec{F}_{-q} &= -q \vec{E} \\ \vec{F}_{\text{dip}} &= \vec{F}_q + \vec{F}_{-q} = 0 \\ \Rightarrow \vec{a}_{\text{cm}} &= 0 \\ \Rightarrow \vec{v}_{\text{cm}} &= \text{constante} \end{aligned}$$

Torque con respecto al centro de masa (CM)

$$\begin{aligned} \vec{\tau}_{\text{cm}} &= \vec{r} \times \vec{F}_q + (-\vec{r}) \times \vec{F}_{-q} = \vec{r} \times q \vec{E} + (-\vec{r}) \times (-q \vec{E}) = 2 \vec{r} q \times \vec{E} \\ \text{Pero } \vec{d} &= 2 \vec{r} \Rightarrow \vec{\tau}_{\text{cm}} = q \vec{d} \times \vec{E} \Rightarrow \vec{\tau}_{\text{cm}} = \vec{P} \times \vec{E} \end{aligned}$$

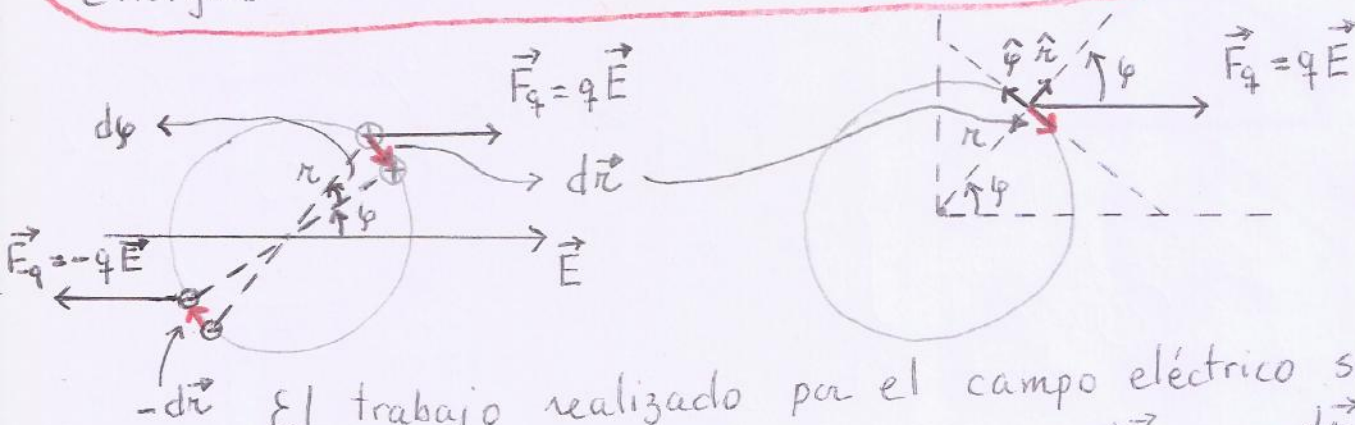


(B)

✓ $\vec{\tau}_{cm}$ es un vector que entra perpendicularmente al plano de la "hoja".

✓ La magnitud del torque es $|\vec{\tau}_{cm}| = \tau_{cm} = |\vec{p}| |\vec{E}| \sin \phi$.

Energía Potencial de un Dipolo Eléctrico



El trabajo realizado por el campo eléctrico sobre las cargas q y $-q$ al desplazarse $d\vec{r}$ y $-d\vec{r}$ respectivamente, es

$$dW = dW_q + dW_{-q} = \vec{F}_q \cdot d\vec{r} + \vec{F}_{-q} \cdot (-d\vec{r})$$

donde $d\vec{r} = r d\phi \hat{\phi}$, con $d\phi < 0$ (Ver figuras)

$$dW = q\vec{E} \cdot (r d\phi \hat{\phi}) - q\vec{E} \cdot (-r d\phi \hat{\phi}) = 2rq\vec{E} \cdot \hat{\phi} d\phi = 2rqE \cos(\phi + \pi/2) d\phi$$

$$dW = -2rqE \sin \phi d\phi = -dqE \sin \phi d\phi = -pE \sin \phi d\phi$$

Las fuerzas $\vec{F}_q$ y $\vec{F}_{-q}$ son conservativas. Esto implica que

$$dW = -dU$$

donde dU representa un cambio infinitesimal de energía potencial que experimenta el Dipolo Eléctrico

(C)

$$\Rightarrow dU = p E \sin \varphi d\varphi$$

Si φ cambia de φ_1 a φ_2 :

$$\int_{U_1}^{U_2} dU = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} p E \sin \varphi d\varphi$$

$$U_2 - U_1 = p E (-\cos \varphi) \Big|_{\varphi_1}^{\varphi_2} = p E \cos \varphi_1 - p E \cos \varphi_2$$

En general

$$U(\varphi) = -p E \cos \varphi + \text{constante}$$

En general, constante = 0

$$\Rightarrow U(\varphi) = -p E \cos \varphi$$

$$U(\varphi) = -\vec{p} \cdot \vec{E}$$

(Energía Potencial de un Dipolo Eléctrico sumergido en un campo eléctrico $\vec{E}$)

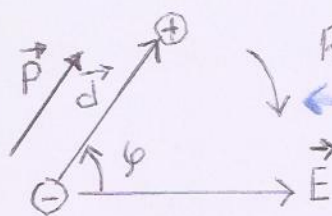
Recordatorio El principio de Conservación de energía dice:

$$K + U = \text{constante} = \text{Energía total}$$

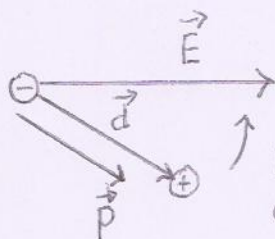
Energía Cinética Energía Potencial

Como el movimiento del dipolo es una rotación alrededor de su centro de masa

$$(K + U)_{\varphi_1} = (K + U)_{\varphi_2}$$



Rotación alrededor de la dirección de $\vec{E}$ (D)
 En esta posición el torque apunta hacia adentro de la hoja ($\vec{\tau}_{cm} = \vec{p} \times \vec{E}$)

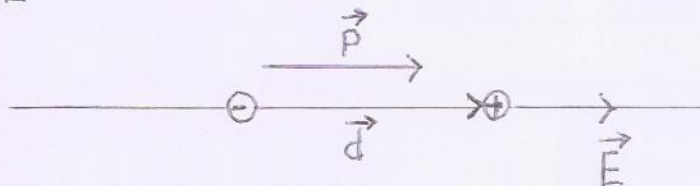


En esta posición el torque apunta hacia afuera.

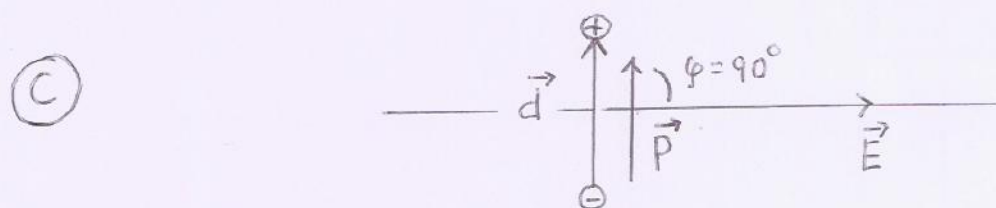
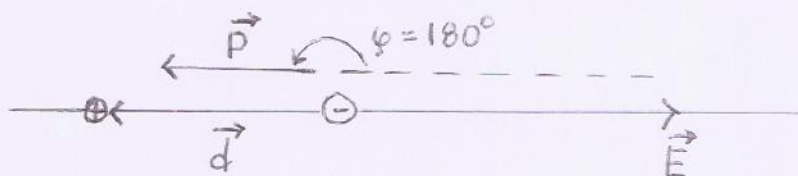
Rotación
alrededor
de $\vec{E}$

- ✓ El dipolo que venía moviéndose en sentido horario, comienza a "sentir" un torque (hacia afuera) que tiende a detenerlo hasta lograrlo en un instante.
- ✓ A partir de ese instante, ya que el torque sigue actuando y está dirigido hacia afuera, entonces el dipolo comienza a moverse (rotar) en sentido anti-horario.
- ✓ La posición del dipolo es especificada por el ángulo ϕ .
- ✓ Cuando $\phi = 0^\circ$ (posición de equilibrio), la energía potencial es $U(\phi = 0^\circ) = -\vec{p} \cdot \vec{E} = -|\vec{p}||\vec{E}|\cos 0^\circ = -|\vec{p}||\vec{E}|$. Este valor corresponde al menor valor que puede tener la energía potencial U . El movimiento del dipolo ocurre alrededor de la posición de mínima energía potencial.

(A) $\vec{p} \parallel \vec{E} \Rightarrow U(\varphi=0) = -|\vec{p}| |\vec{E}| = -qdE \leftarrow U_{\min}$ (E)



(B) $\vec{p} \nparallel \vec{E} \Rightarrow U(\varphi=180^\circ) = -|\vec{p}| |\vec{E}| \cos 180^\circ = |\vec{p}| |\vec{E}| = +qdE = U_{\max}$



$$U(\varphi=90^\circ) = -pE \cos 90^\circ = 0$$

La energía potencial del dipolo eléctrico es cero cuando $\varphi=90^\circ$

✓ Ver Fig. 21.27 (Sears-Zemansky)



(Semilla de césped inmersa en un campo eléctrico)

✓ Ver Ejemplo 21.14, pag. 822

✓ ¿Por qué se disuelve el NaCl (sal cloruro de sodio) en el agua?

{ Na es alcalino
 Cl es halógeno

Na^+ = ión positivo de Na

Cl^- = ión negativo de Cl