

Tema 3.1: Campo Eléctrico

- Fuerza Eléctrica: Ley de Coulomb
- Campo Eléctrico
- Ley de Gauss
- Potencial Eléctrico

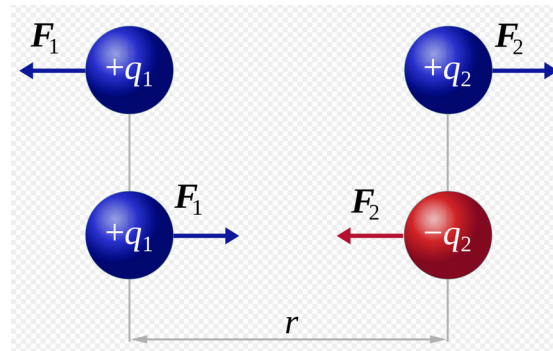


Ley de Coulomb

Charles Coulomb (1736-1806)

Fuerza electromagnética entre dos cargas, medida en Newtons ($N = \text{kg m s}^{-2}$)

$$F = \frac{k|q_1q_2|}{r^2}$$



$$k = 8.99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$$

Ley de Coulomb

EJEMPLO: (Tipler 21.1 y 21.2, pp701-702)

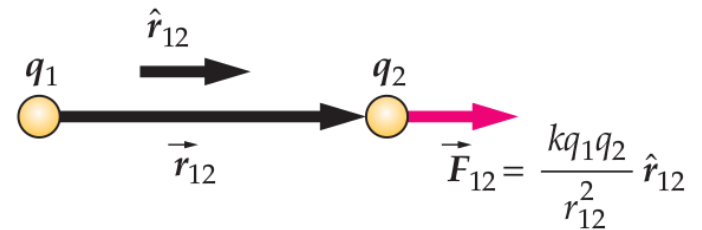
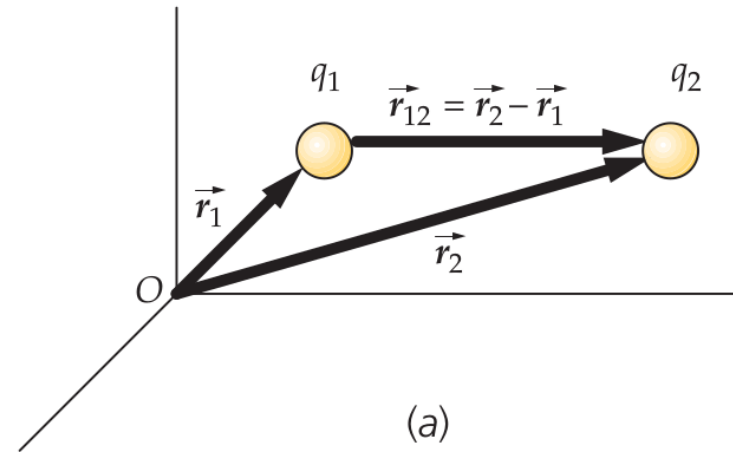
Calcule la atracción electromagnética entre el protón y el electrón de un átomo de H suponiendo que se encuentran a una distancia de media de $5 \times 10^{-11} \text{ m}$
($q_p = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$)

- Compárase con la fuerza gravitatoria que siente una persona de 80kg
- Compárese con la atracción gravitatoria entre un protón y un electrón
($G = 6.7 \times 10^{-11} \text{ N m kg}^{-2}$, $m_p = 1.7 \times 10^{-27} \text{ kg}$, $m_e = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$)

Ley de Coulomb

- Expresión vectorial

$$\vec{F}_{12} = \frac{kq_1q_2}{r_{12}^2} \hat{r}_{12}$$



Ley de Coulomb

- **EJEMPLO.** (Tipler 21.5 p703)

$q_1 = +25 \text{ nC}$ está en el origen de coordenadas

$q_2 = -15 \text{ nC}$ está en $x=2.0\text{m}$, $y=0$

$q_0 = +20 \text{ nC}$ está en $x=2.0\text{m}$, $y=2\text{m}$

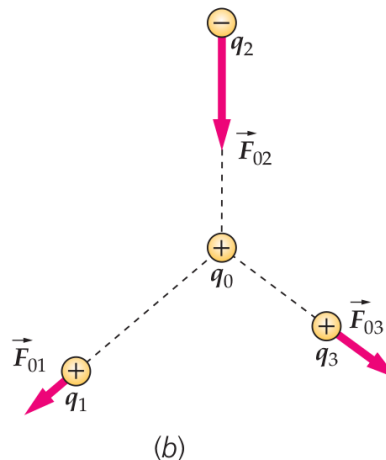
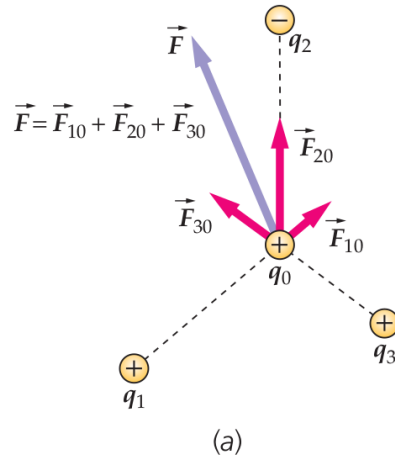
Calcular el vector de fuerza resultante ejercida sobre q_0

Campo Eléctrico

- Es la fuerza por unidad de carga, con unidades N/C

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

- Donde q_0 es una carga *pequeña*



	$E, \text{ N/C}$
In household wires	10^{-2}
In radio waves	10^{-1}
In the atmosphere	10^2
In sunlight	10^3
Under a thundercloud	10^4
In a lightning bolt	10^4
In an X-ray tube	10^6
At the electron in a hydrogen atom	5×10^{11}
At the surface of a uranium nucleus	2×10^{21}

Campo Eléctrico

EJEMPLO (Tipler 21.6 p706)

Se coloca una carga $q_1 = +q$ en $x = a$

Se coloca una carga $q_2 = -2q$ en $x = -a$

¿Existe algún punto del eje x dónde se anule el campo eléctrico creado por ambas cargas?

Campo Eléctrico

EJEMPLO (Tipler 21.7 p707)

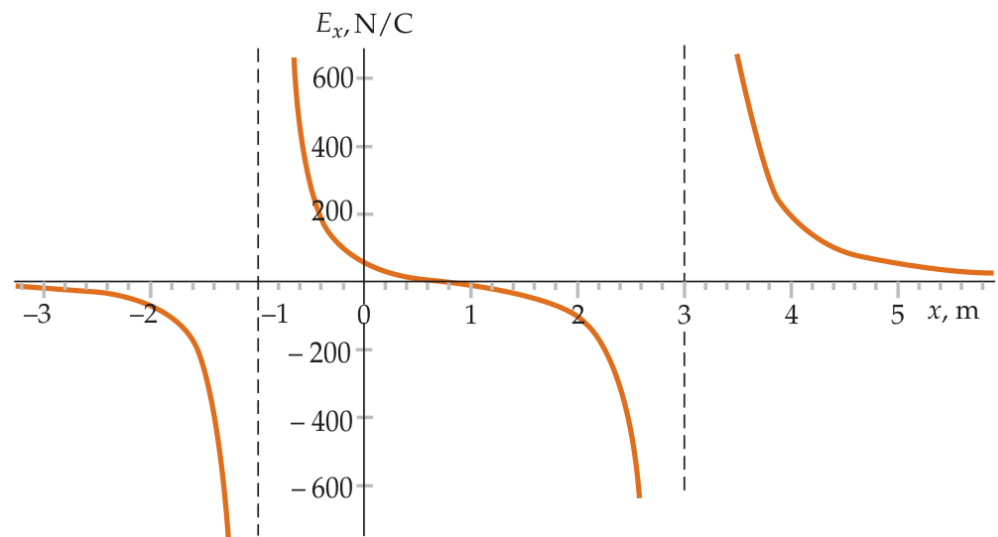
Se coloca una carga $q_1 = + 8 \text{ nC}$ en $x = -1\text{m}$

Se coloca una carga $q_2 = + 12 \text{ nC}$ en $x = 3\text{m}$

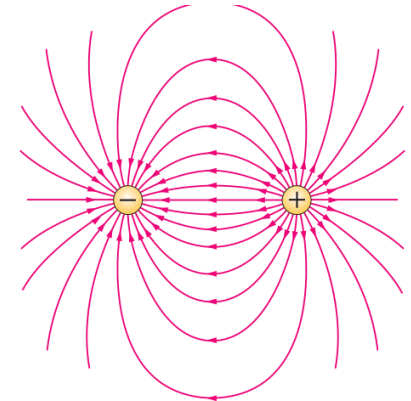
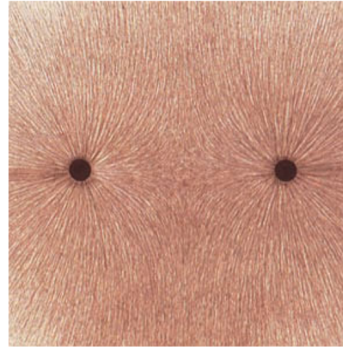
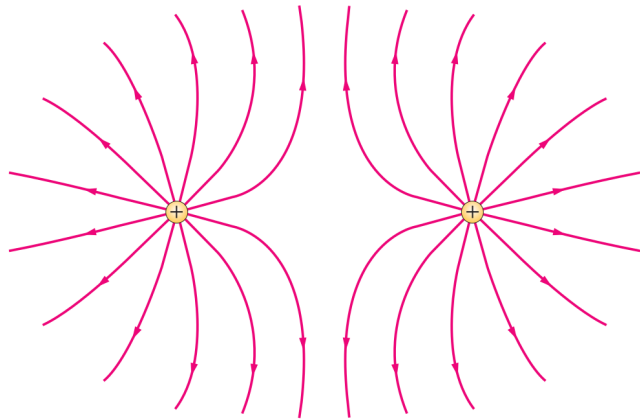
Determinar el campo eléctrico
resultante en

a) $x = 6\text{m}$

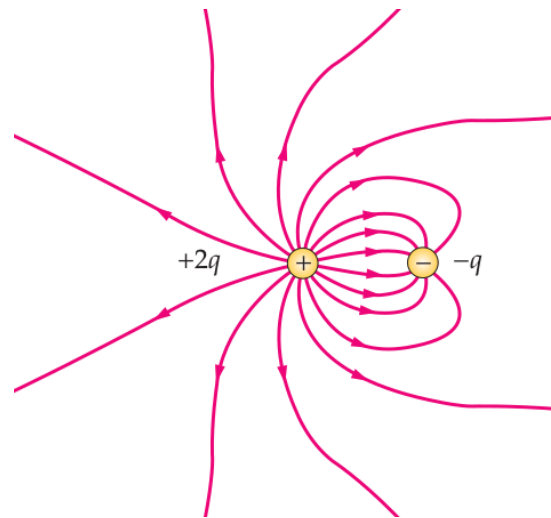
b) $x = 2\text{m}$



Campo Eléctrico. Líneas de campo



(a)



Campo Eléctrico. Fuerzas sobre cargas en campos

- Movimiento de cargas puntuales en campos eléctricos

Aceleración que sufre una partícula de carga q y masa m en un campo eléctrico

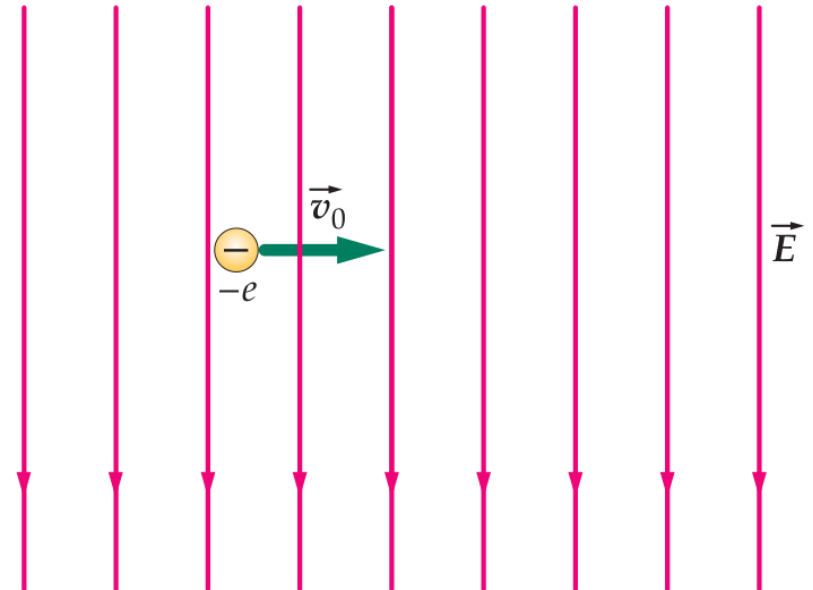
$$\vec{a} = \frac{\Sigma \vec{F}}{m} = \frac{q}{m} \vec{E}$$

Campo Eléctrico. Fuerzas sobre cargas en campos

▪ EJEMPLO (21.11 Tipler p 715)

Un electrón se proyecta horizontalmente en el interior de un campo eléctrico uniforme vertical $E = -2000 \text{ N/C}$ con una velocidad inicial $v_0 = 10^6 \text{ m/s}$

- Comparar la fuerza gravitatoria con la fuerza electromagnética ejercidas sobre el electrón
- ¿Qué distancia vertical Δy recorrerá el electrón cuando haya recorrido 1cm en dirección horizontal?



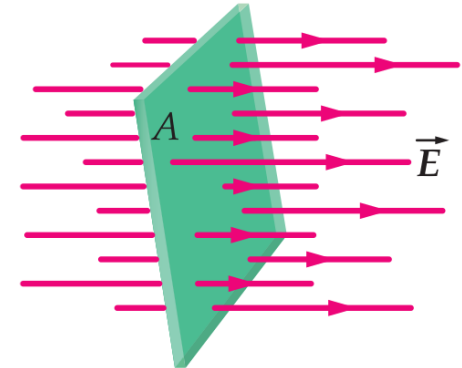
Flujo eléctrico

El **Flujo Eléctrico** ϕ es una magnitud escalar que indica la **cantidad de campo eléctrico que atraviesa una superficie.**

Unidades: N m² / C

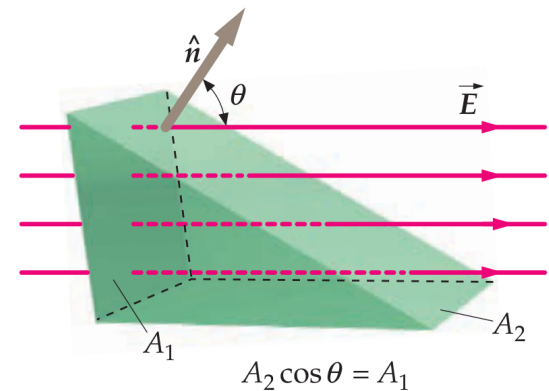
-Campo uniforme atravesando un área perpendicular

$$\phi = EA$$



-Campo uniforme atravesando un área con ángulo θ

$$\phi = \vec{E} \cdot \hat{n}A = EA \cos \theta = E_n A$$



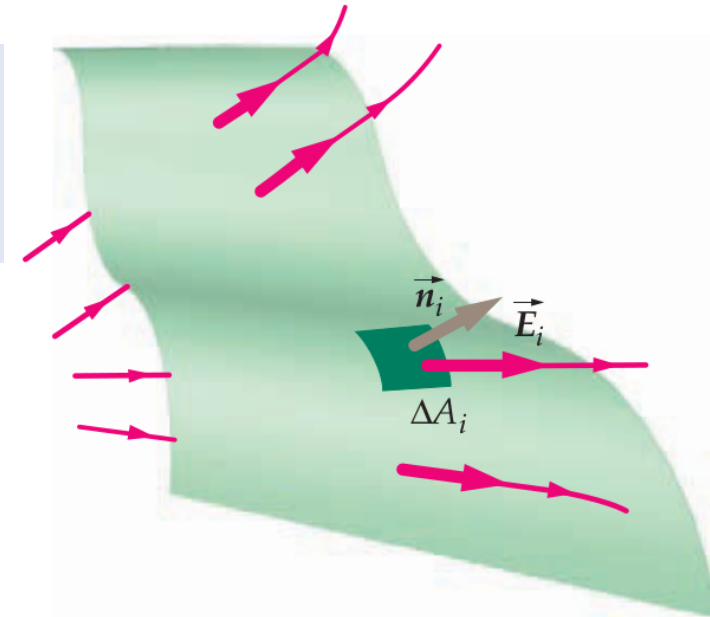
Flujo eléctrico

Para calcular el flujo a través de una superficie S arbitraria se hace la suma de los flujos que atraviesan cada superficie de área infinitesimal ΔA_i . Se obtiene así una integral sobre toda la superficie S

$$\phi = \lim_{\Delta A_i \rightarrow 0} \sum_i \vec{E}_i \cdot \hat{n}_i \Delta A_i = \int_S \vec{E} \cdot \hat{n} dA$$

Y para una superficie cerrada el flujo neto es

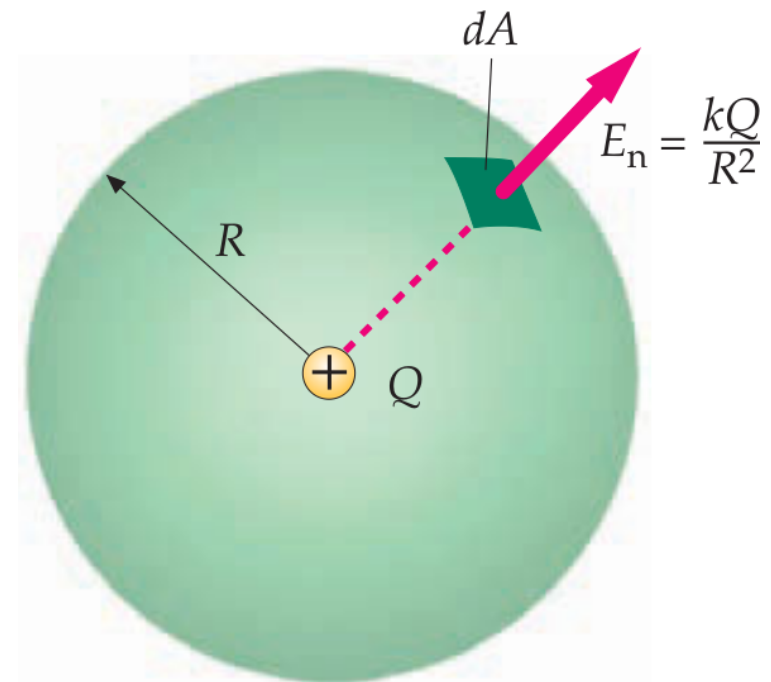
$$\phi_{\text{net}} = \oint_S \vec{E} \cdot \hat{n} dA = \oint_S E_n dA$$



Flujo eléctrico

- Problema (Tipler p 740).

Calcular el flujo a través de una esfera que contiene una carga Q



Ley de Gauss

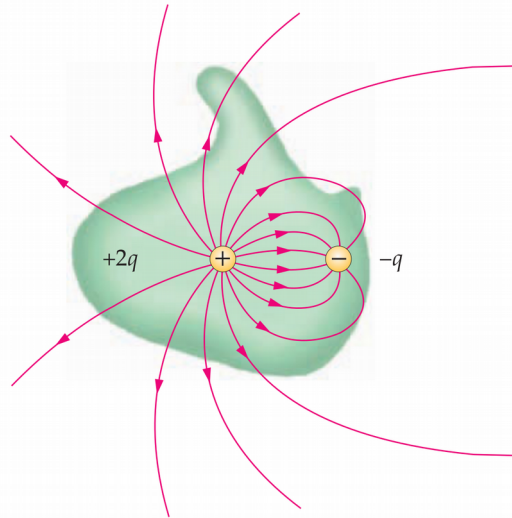
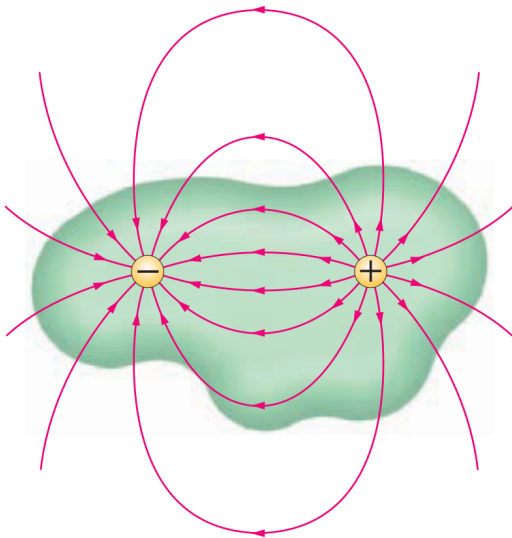
- **Ley de Gauss** (equivalente a Ley de Coulomb para cargas estáticas)

El número neto de líneas de campo que sale por cualquier superficie que encierra a las cargas es proporcional a la carga encerrada dentro de dicha superficie

$$\phi_{\text{net}} = \oint_S \vec{E} \cdot \hat{n} dA = \oint_S E_n dA = \frac{Q_{\text{inside}}}{\epsilon_0}$$

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/(\text{N} \cdot \text{m}^2)$$

Permitividad eléctrica del vacío

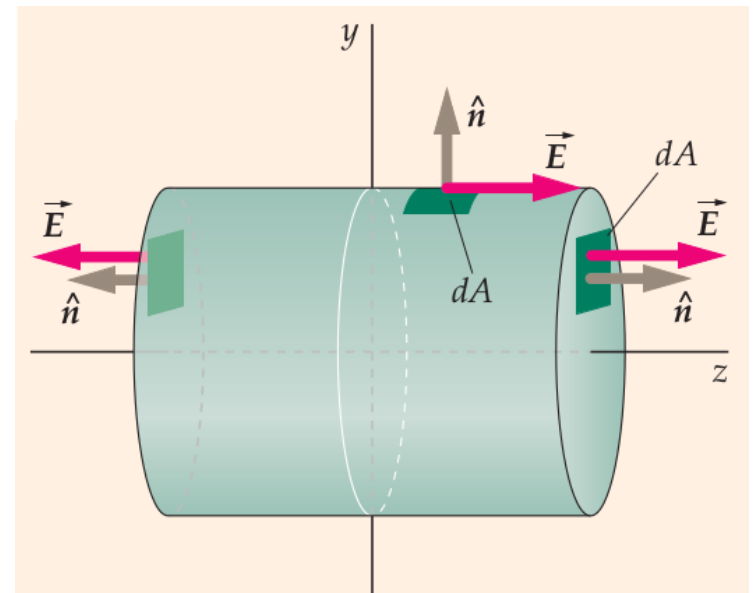


Carl Friedrich Gauss 1777-1855

Ley de Gauss

- Ejemplo (22.9 Tipler p741)

Un campo eléctrico vale $\vec{E} = +(200 \text{ N/C})\hat{k}$ para $x > 0$ y $\vec{E} = -(200 \text{ N/C})\hat{k}$ para $x < 0$. Un cilindro imaginario de longitud 20 cm y radio $R = 5$ cm tiene su centro en el origen y su eje a lo largo del eje x , de modo que un extremo se encuentra en $x = +10$ cm y el otro en $x = -10$ cm (figura 22.21). (a) ¿Cuál es el flujo neto del campo eléctrico que atraviesa la superficie total cerrada del cilindro? (b) ¿Cuál es la carga neta localizada en el interior del cilindro?



Potencial Eléctrico

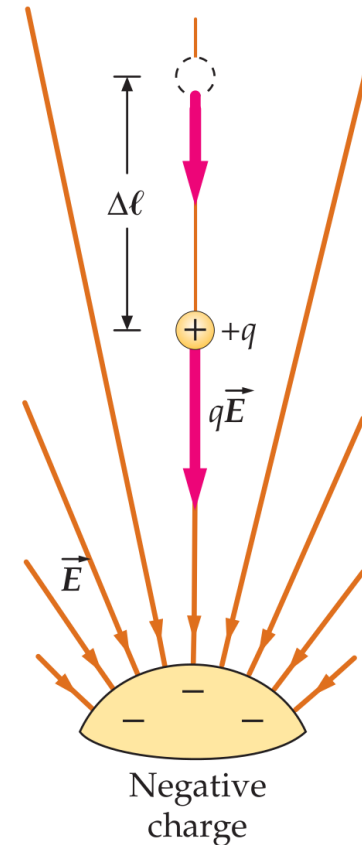
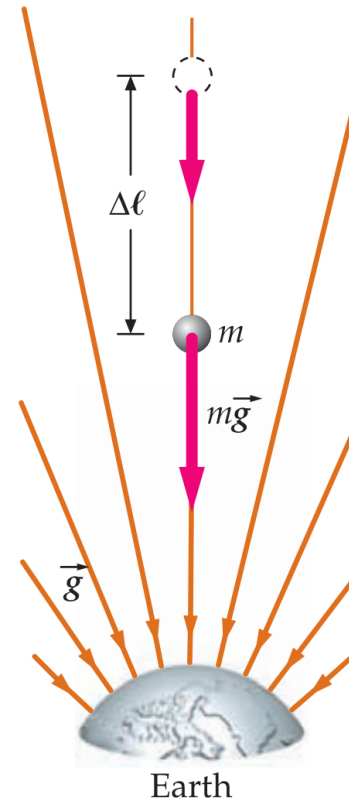
La fuerza eléctrica es *conservativa*:

Se puede definir una **Energía Potencial U** cuya variación al recorrer una distancia $d\ell$ es:

$$dU = -\vec{F} \cdot d\vec{\ell} = -q\vec{E} \cdot d\vec{\ell}$$

- La **Diferencia de Potencial dV** es la variación de energía potencial por unidad de carga

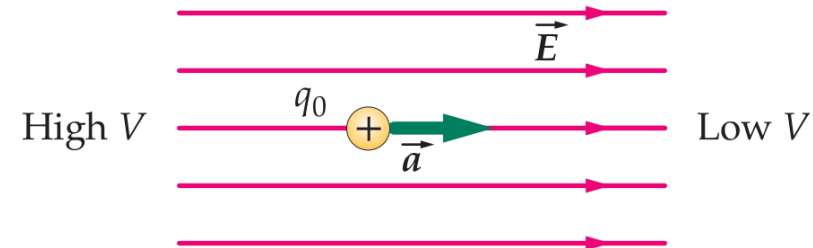
$$dV = \frac{dU}{q_0} = -\vec{E} \cdot d\vec{\ell}$$



Potencial Eléctrico

- Para un desplazamiento a - b el **cambio de potencial ΔV** es

$$\Delta V = V_b - V_a = \frac{\Delta U}{q_0} = - \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{\ell}$$



- Unidad de potencial: **Voltios V**
 $1 \text{ V} = \text{N m} / \text{C} = \text{J} / \text{C}$

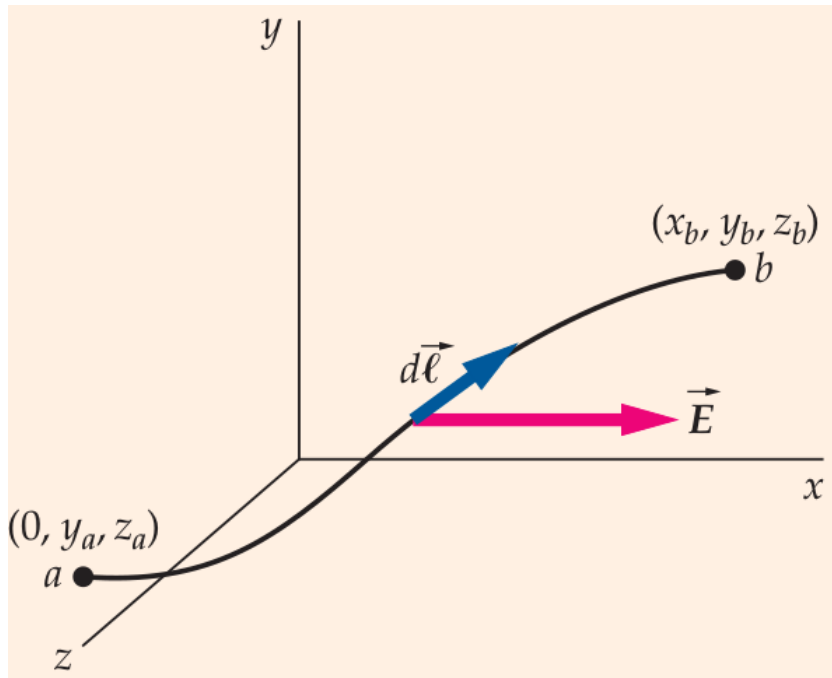
- Unidad de energía alternativa **electrón-Voltio** (física nuclear)
 $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C V} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$

Potencial Eléctrico

- Ejemplo (Tipler 23.1 p766). Cálculo de V para E constante.

Un campo eléctrico apunta en la dirección x positiva siendo su módulo constante = 10 N/C. Determinar el potencial en función de x suponiendo que $V = 0$ para $x = 0$

E



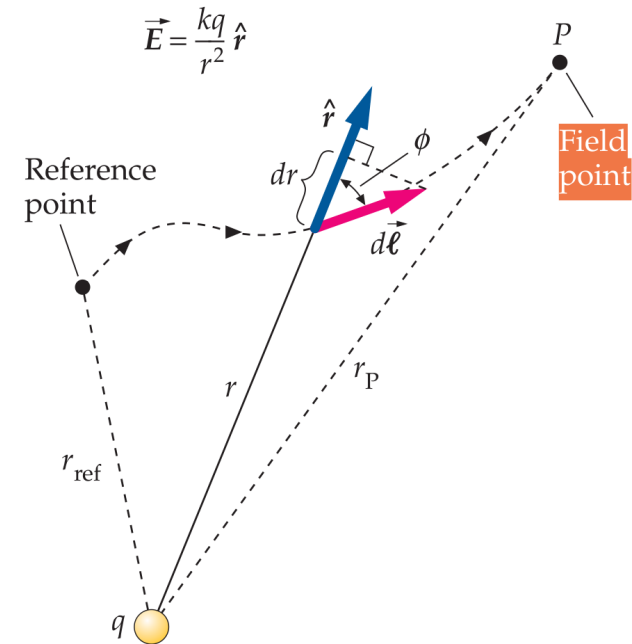
Potencial Eléctrico. Cargas puntuales

- Potencial a una distancia r de una carga q

$$V_P - V_{\text{ref}} = - \int_{\text{ref}}^P \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = - \int_{\text{ref}}^P \frac{kq}{r^2} \hat{r} \cdot d\vec{\ell} = - \int_{r_{\text{ref}}}^{r_P} \frac{kq}{r^2} dr$$

$$dr = \hat{r} \cdot d\vec{\ell}$$

$$V_P - 0 = - \int_{\text{ref}}^P \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = -kq \int_{r_{\text{ref}}}^{r_P} \frac{1}{r^2} dr = \frac{kq}{r_P} - \frac{kq}{r_{\text{ref}}}$$



Potencial Eléctrico. Cargas puntuales

- Potencial de Coulomb para una carga puntual

$$V = \frac{kq}{r}$$

$$r_{\text{ref}} \rightarrow \infty$$

- Potencial creado por un sistema de cargas puntuales

$$V = \sum_i \frac{kq_i}{r_i}$$

- Energía potencial electrostática de un sistema de dos cargas

$$U = q'V = q' \frac{kq}{r} = \frac{kq'q}{r}$$

Potencial Eléctrico

- Ejemplo (Tipler 23.2 p 768) **Energía potencial del átomo de Hidrógeno**

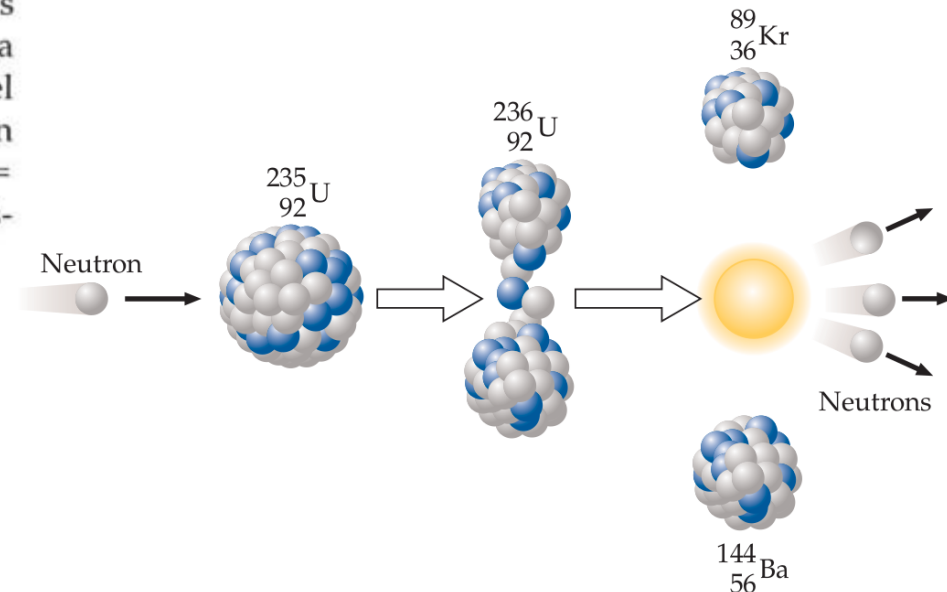
- (a) ¿Cuál es el potencial eléctrico a una distancia $r = 0,529 \times 10^{-10}$ de un protón?
(distancia media protón-electrón en el átomo de H)
- (b) ¿Cuál es la energía potencial de electrón y el protón a esa distancia?

Potencial Eléctrico

- Ejemplo (Tipler 23.3 p 768)

Energía potencial de los productos de la fisión nuclear átomo de Hidrógeno

En la fisión nuclear, un núcleo de uranio-235 captura un neutrón para formar un núcleo inestable de uranio-236. El núcleo de uranio inestable se rompe y se forman dos núcleos más ligeros (figura 23.6) y, además, en la reacción dos o tres neutrones salen a gran velocidad. A veces, los dos productos de la fisión son un núcleo de bario (carga $56e$) y un núcleo de kriptón (carga $36e$). Suponer que en el instante en el que la fisión tiene lugar estos núcleos son cargas puntuales positivas separadas una distancia $r = 14,6 \times 10^{-15}$ m. Calcular la energía potencial de este sistema de dos cargas en electronvolts.



Potencial Eléctrico

- Ejemplos: Tipler 23.4, 23.5 y 23.6 pp770-71.