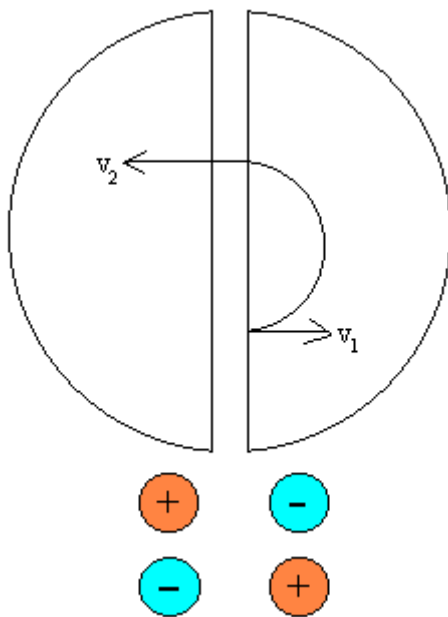


# El ciclotrón

El estudio del ciclotrón se ha dividido en dos partes:

1. En la primera se tratará de visualizar la trayectoria seguida por un ión en un ciclotrón, y conocer los factores de los que depende la energía final.
2. En la segunda parte, se tratará de determinar la frecuencia de resonancia del ciclotrón. Es decir, la frecuencia del potencial oscilante para que el ión sea siempre acelerado.

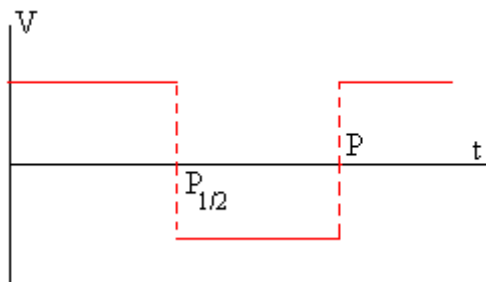
## Descripción



El ciclotrón consta de dos placas semicirculares huecas llamadas DES por su forma, que se montan con sus bordes diametrales adyacentes dentro de un campo magnético uniforme que es normal al plano de las placas y se hace el vacío. A dichas placas se le aplican oscilaciones de alta frecuencia que producen un campo eléctrico oscilante en la región diametral entre ambas.

Como consecuencia, durante un semiciclo el campo eléctrico acelera los iones, formados en la región diametral, hacia el interior de uno de los electrodos, llamados 'Ds', donde se les obliga a recorrer una trayectoria circular mediante un campo magnético y finalmente, aparecerán de nuevo en la región intermedia.

El campo magnético se ajusta de modo que el tiempo que se necesita para recorrer la trayectoria semicircular dentro del electrodo sea igual al semiperiodo de las oscilaciones. En consecuencia, cuando los iones vuelven a la región intermedia, el campo eléctrico habrá invertido su sentido y los iones recibirán entonces un segundo aumento de la velocidad al pasar al interior de la otra 'D'.



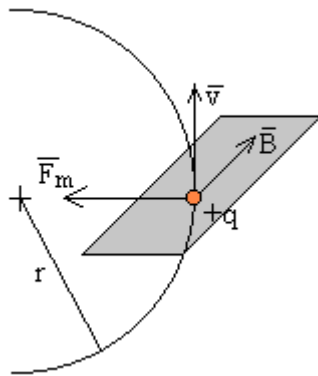
Como los radios de las trayectorias son proporcionales a las velocidades de los iones, el tiempo que se necesita para el recorrido de una trayectoria semicircular es independiente de sus velocidades. Por consiguiente, si los iones emplean exactamente medio ciclo

$P_{1/2}$  en una primera semicircunferencia, se comportarán de modo análogo en todas las sucesivas y, por tanto, se moverán en espiral y en resonancia con el campo oscilante hasta que alcancen la periferia del aparato.

Su energía cinética final, será tantas veces mayor que la que corresponde al voltaje aplicado a los electrodos multiplicado por el número de veces que el ión ha pasado por la región intermedia entre las 'Ds'.

### Movimiento circular

Una partícula cargada [describe una semicircunferencia](#) en un campo magnético uniforme. La fuerza sobre la partícula viene dada por el producto vectorial  $\mathbf{F}_m = q \cdot \mathbf{v} \times \mathbf{B}$ , Su módulo es  $F_m = q \cdot v B$ , su dirección radial y su sentido hacia el centro de la circunferencia



Aplicando la segunda ley de Newton al [movimiento circular uniforme](#), obtenemos el radio de la circunferencia.

$$F_m = \frac{mv^2}{r} \quad r = \frac{mv}{qB}$$

El tiempo que tarda en describir una semicircunferencia es por tanto, independiente del radio  $r$  de la órbita

$$P_{\frac{1}{2}} = \frac{\pi r}{v} = \frac{\pi m}{qB}$$

### Aceleración del ión



El ión es [acelerado por el campo eléctrico](#) existente entre las D's. Incrementa su energía cinética en una cantidad igual al producto de su carga por la diferencia de potencial existente entre las D's.

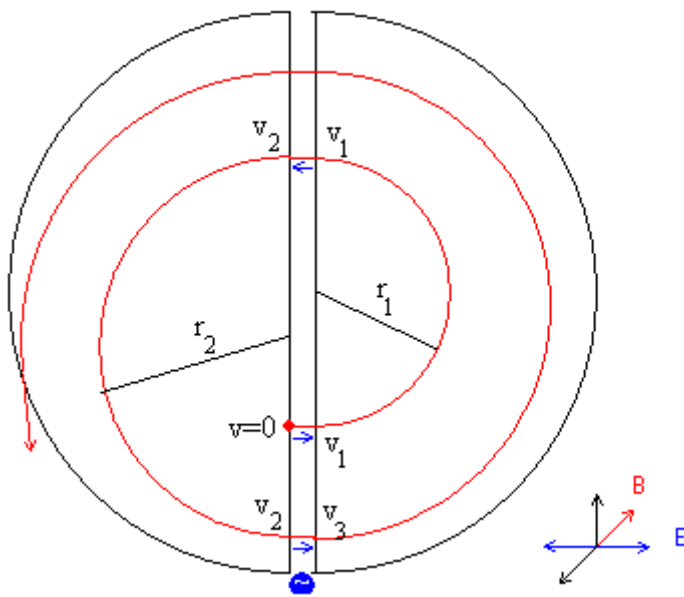
$$qV = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2$$

Cuando el ión completa una semicircunferencia en el tiempo constante  $P_{1/2}$ , se invierte la polaridad por lo que es nuevamente acelerado por el campo existente en la región intermedia. De nuevo, incrementa su energía cinética en una cantidad igual al producto de su carga por la diferencia de potencial existente entre las D's.

La energía final del ión es  $nqV$ , siendo  $n$  el número de veces que pasa por la región entre las D's.

### Ejemplo:

- Se elige como partícula el protón  $m=1.67 \cdot 10^{-27}$  kg
- Campo magnético  $B=60$  gauss  $=60 \cdot 10^{-4}$  T
- Diferencia de potencial entre las D's,  $V=100$  V



1. El ión parte del reposo y se acelera por la diferencia de potencial existente entre las dos D's

$$qV = \frac{1}{2}mv_1^2 \quad 1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 100 = \frac{1}{2} 1.67 \cdot 10^{-27} v_1^2 \quad v_1 = 138.4 \cdot 10^3 \text{ m/s}$$

2. La partícula describe una trayectoria semicircular de radio  $r_1$

$$r_1 = \frac{mv_1}{qB} \quad r_1 = \frac{1.67 \cdot 10^{-27} \cdot 138.4 \cdot 10^3}{1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 60 \cdot 10^{-4}} = 0.24 \text{ m} = 24 \text{ cm}$$

3. La diferencia de potencial alterna cambia de polaridad y la partícula se acelera

$$qV = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 \quad 2qV = \frac{1}{2}mv_2^2 \quad v_2 = 195.8 \cdot 10^3 \text{ m/s}$$

4. La partícula describe una trayectoria semicircular de radio  $r_2$

$$r_2 = \frac{mv_2}{qB} \quad r_2 = 0.34 \text{ m} = 34 \text{ cm}$$

5. y así, sucesivamente...

La energía final de la partícula cuando sale del ciclotrón es  $E_k = 4 \cdot qV = 4 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 100$   
 $J = 400 \text{ eV}$ , ya que es acelerada cuatro veces al pasar por la región comprendida entre las dos D's

## RESUMEN FINAL

### Ciclotrón

Un ciclotrón es un acelerador de partículas que se basa en que el periodo de rotación de una partícula cargada en el interior de un campo magnético uniforme es independiente del radio y de la velocidad:

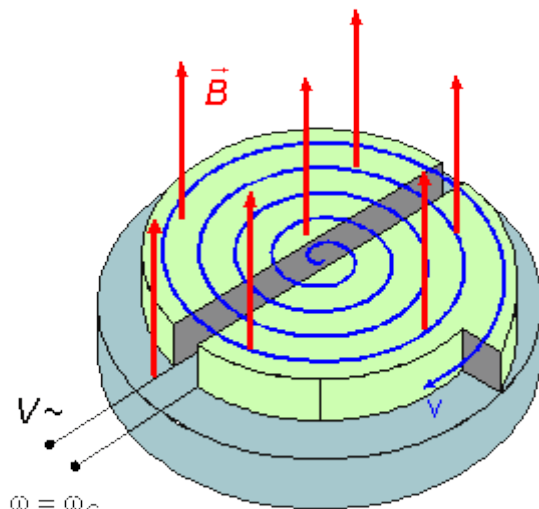
$$\omega_c = \frac{qB}{m}$$

de este modo las partículas cargadas se introducen en un dispositivo con forma de "D" y son aceleradas con un voltaje alterno

$\omega = \omega_c$   
 voltaje alterno de alta frecuencia

de frecuencia exactamente igual a  $\omega_c$ . A cada mitad de vuelta la "D" contraria cambia de polaridad dando un nuevo "empujón" y comunicando a la partícula una energía  $q\Delta V$ . La velocidad de la partícula crece de este modo adquiriendo un valor  $v = \omega r$  igual a:

$$v_{salida} = \frac{qBr}{m}$$



Más información con un "applet" interactivo en <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/electromagnet/ciclotron/ciclo.html>