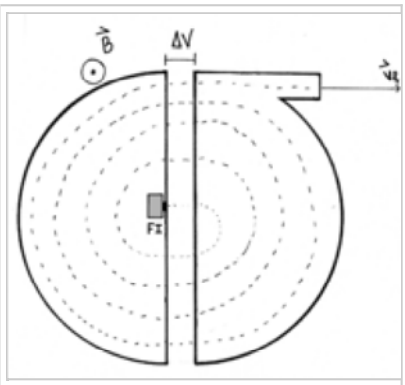
Ciclotrão

O ciclotrão é um instrumento utilizado para acelerar partículas carregadas até altas energias cinéticas.

O ciclotrão é constituído por dois condutores semi-circulares ocos mantidos no vácuo e dispostos de maneira a formar dois *D* separados (ver figura 1). Entre estas duas peças aplica-se uma diferença de potencial alternada, cuja frequência é ajustada de modo a que, quando as partículas alcançam a separação entre os dois *D*, estas sejam aceleradas no mesmo sentido da sua velocidade. Na região dos *D* 's existe um campo magnético uniforme, independente do tempo, cuja direcção é perpendicular ao plano dos *D* 's.

Consideremos, por simplicidade, o caso não relativista.



Representação esquemática de um ciclotrão visto de cima. O campo magnético $\vec{B}$ aponta para fora da página, ΔV é a diferença de potencial entre as duas peças, $\vec{v}_f$ é a velocidade final da partícula e FI representa a fonte de iões que vão descrever trajectórias semi-circulares no ciclotrão.

Uma partícula electricamente carregada em movimento, sujeita à acção de um campo magnético uniforme perpendicular à sua velocidade, descreve uma trajectória circular cujo período é independente da velocidade:

$$T = \frac{2\pi m}{qB}.$$

Os iões produzidos pela fonte, FI, colocada no centro do sistema formado pelos dois *D* 's, são acelerados pela diferença de potencial entre os *D* e, ao entrarem num deles, descrevem uma trajectória semi-circular até atingir, ao fim do intervalo de tempo $\frac{T}{2}$, a separação entre os *D*. Entretanto, a diferença de potencial entre os *D* mudou de sentido e os iões são acelerados, aumentando a sua energia cinética. No segundo *D*, o raio da trajectória semicircular é maior do que no primeiro, porque a velocidade da partícula é agora maior do que anteriormente. A partícula volta a alcançar a separação entre os *D*, passado o intervalo de tempo $\frac{T}{2}$ desde a entrada no segundo *D*. Se a frequência de oscilação do potencial eléctrico for $f = \frac{qB}{m\pi}$, há uma alternância do sentido da diferença de potencial aceleradora cada $\frac{T}{2}$ segundos, garantindo que a partícula será acelerada no sentido da sua velocidade, ou seja, havendo sempre um aumento da sua energia cinética, no valor de

$q\Delta V$.

O processo descrito atrás repete-se várias vezes até que uma placa deflectora desvia a partícula para fora do sistema.

A energia cinética da partícula que sai do ciclotrão está relacionada com o raio máximo que esta descreve antes de sair do sistema:

Sabe-se que o raio de uma partícula de carga q sujeita ao efeito de um campo magnético constante é $r = \frac{mv}{qB}$,

então $mv^2 = \frac{q^2B^2}{m}r^2$ e

$E_{cin} = \frac{1}{2}\frac{q^2B^2}{m}R_{max}^2$.

Aumento relativista da massa

O ciclotrão não pode aumentar indefinidamente a energia de uma partícula carregada. Quando a partícula atinge uma velocidade tal que os efeitos relativistas se tornam apreciáveis, a sua massa efectiva vai aumentar e vai depender da velocidade a que se movimenta. Por essa razão, o tempo que demora a percorrer o a trajectória circular vai deixar de ser independente da sua velocidade:

$$T(v) = \frac{2\pi m(v)}{qB}$$

em que $m(v) = \gamma m_0$

em que m_0 é a massa de repouso da partícula e $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$ o factor de Lorentz.

A sincronização que havia no regime não-relativista entre o movimento da partícula e as oscilações da diferença de potencial deixa de existir. Diz-se que a partícula e a oscilação do potencial estão **desfasados**. Para terminar, chama-se a atenção de que uma carga acelerada perde energia por radiação.