
FUNCIONAMENTO DUN CICLOTRÓN

OBXECTIVOS

- Entender o comportamento de cargas eléctricas en movementos en presenza de campos eléctricos e campos magnéticos.
- Comprender o funcionamento do ciclotrón e a súa aplicación como aceleradores de partículas.

FUNDAMENTO TEÓRICO¹

O ciclotrón foi inventado en 1932 por Ernest O. Lawrence e M.S. Livingston en Berkeley. As partículas ou ións inxéctanse no centro de dous obxectos en forma de "D" ocos, chamados "Des". Aplícaselles un campo magnético perpendicular ao plano no que se moven e aceléranse entre cada "D" mediante unha diferenza de potencial. Os radios das órbitas van aumentando tras cada volta e, finalmente, ao conseguir o aumento de enerxía buscado, as partículas son expulsadas para impactar nun branco. É un dos primeiros tipos de aceleradores en uso hoxe en día.

No ciclotrón aplícanse:

- O teorema de conservación da enerxía mecánica.
- O movemento de partículas cargadas en campos eléctricos e magnéticos uniformes.

PROCEDEMENTO

- Visualizar o comportamento dunha partícula cargada en presenza de campos eléctricos e magnéticos:
 - <https://kcv.s.ca/cards.html?type=applets> (Particle in a magnetic and electric field)
 - <http://www2.montes.upm.es/dptos/digfa/cfisica/magnet/fuerzamag.html>²
- Visualizar o funcionamento dun ciclotrón, manipulando os datos precisos para analizar a relación entre frecuencia/período e campo magnético.
 - <http://physics.bu.edu/~duffy/HTML5/cyclotron.html>
 - <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica3/magnetico/ciclotron/ciclotron.html>
 - <https://kcv.s.ca/cards.html?type=applets> (Cyclotron)

CUESTIÓNS

- Determinar o potencial eléctrico comunicado para producir a variación de enerxía cinética en cada cambio de D.
- Determinar o valor do campo magnético que produce o xiro da partícula.
- Que sucede se duplicamos o campo eléctrico?
- E se duplicamos o campo magnético?
- Como sería a gráfica que representa a enerxía cinética en función do tempo? Como debe ser a polaridade do campo eléctrico entre cada "D"?

¹

<http://cerezo.pntic.mec.es/~jgrima/Ciclotron.htm>

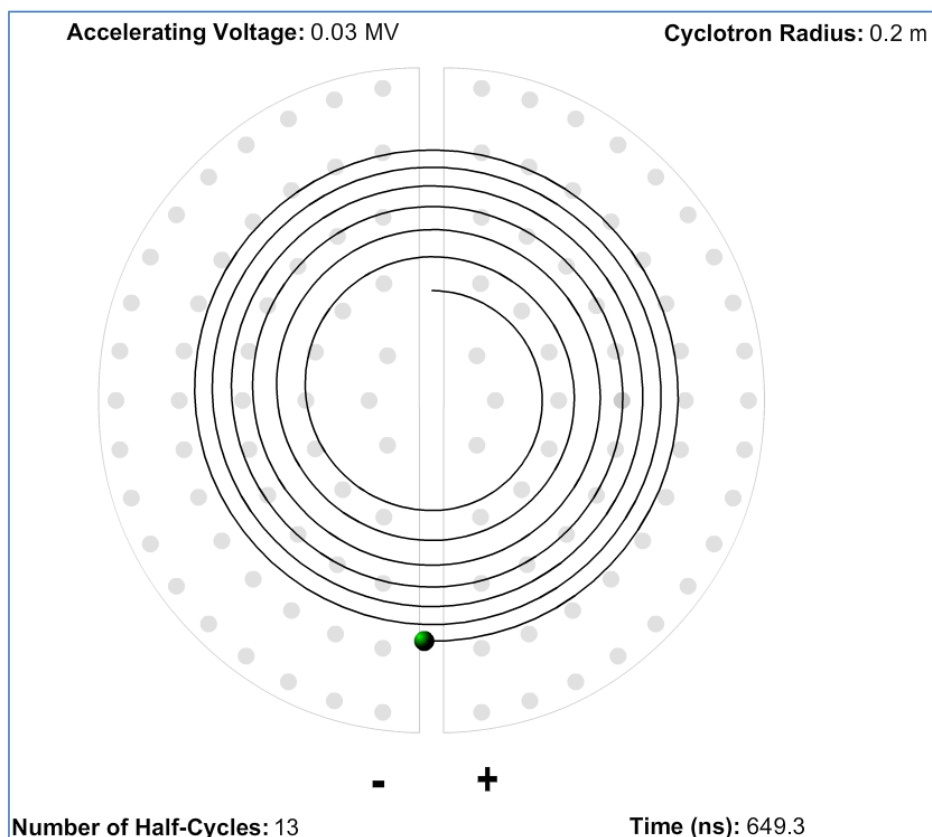
<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/electromagnet/ciclotron/ciclo.html>

Principios y elementos de un ciclotrón <http://www.nib.fmed.edu.uy/Seminario2005/monografias2005/Moreira.pdf>

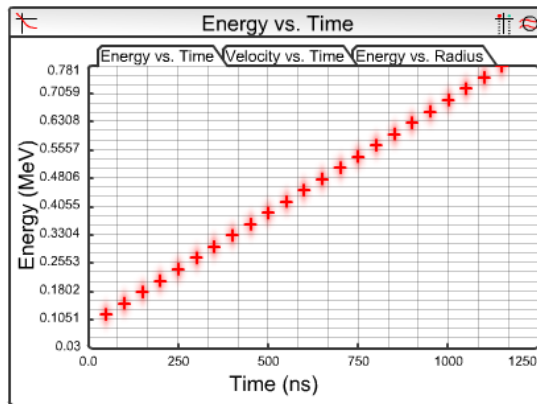
² Animacións de física: <http://www2.montes.upm.es/dptos/digfa/cfisica/animaciones.html>

EXEMPLOS DE CUESTIÓN

1. Describe, brevemente, en que consiste o funcionamento dun ciclotrón e as variables que determinan o seu funcionamento.
2. Nun determinado ciclotrón, os protóns ($m=1,66\cdot 10^{-27}$ Kg; $q=1,6\cdot 10^{-19}$ C) describen unha circunferencia de 0,2 m de radio pouco antes de emerxer. A frecuencia do ciclotrón é de 20 MHz. Calcula o campo magnético necesario para que describan o movemento circular.
3. Por que nun ciclotrón é preciso variar a polaridade do campo eléctrico entre cada "D"?
4. Xustifica como varía a frecuencia en función do radio do ciclotrón.
5. A partir dos datos obtidos do simulador do ciclotrón que aparecen na figura, determina:
 - a) A frecuencia do ciclotrón
 - b) Se o campo magnético aplicado foi de 656 mT e a carga da partícula é de $1,6\cdot 10^{-19}$ C. Sabendo que 1 u equivale a $1,66\cdot 10^{-27}$ Kg, de que partícula se trata?.

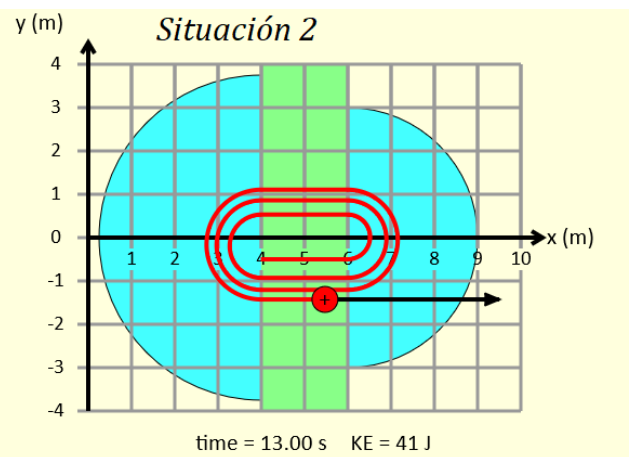
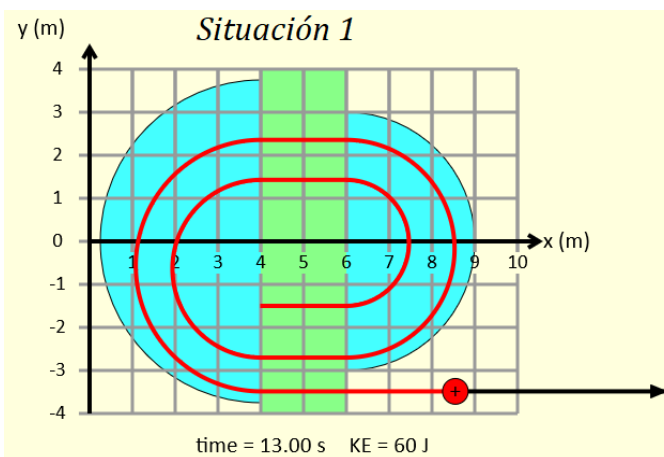
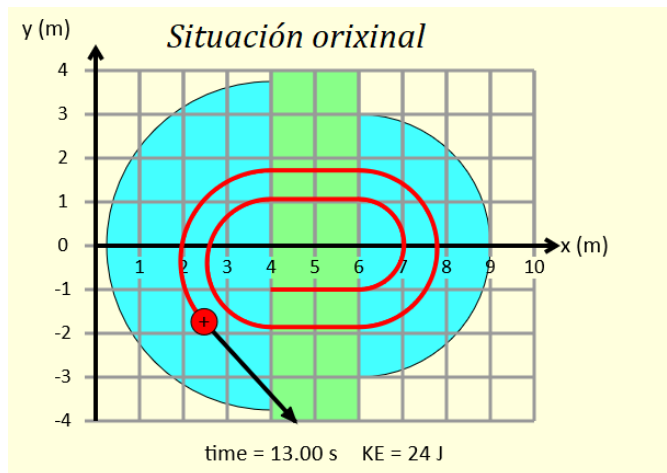


6. Xustifica razoadamente a gráfica da variación de enerxía en cada cambio de polaridade ao pasar polas "D", en función do tempo.



7. Compara, respecto do orixinal, as seguintes situacións, indicando e xustificando de xeito razoado.

- a) En cal delas se duplica o campo eléctrico.
- b) En cal se duplica o campo magnético.



8. a) Qué é un ciclotrón? Explica brevemente os seus fundamentos físicos.
b) Aceléranse protóns cun ciclotrón de 0,25 m de radio máximo (radio de extracción), que opera cun campo magnético uniforme $B = 0,83 \text{ T}$. Calcula a velocidade final dos protóns.

Relación carga/masa de un protón: $9,6 \cdot 10^7 \text{ C/kg}$.

9. Un ciclotrón deseñado para acelerar protóns ten un campo magnético de 2 T e preténdese que alcance 20 MeV.

a) Cal é a frecuencia ciclotrónica (velocidade angular) e o periodo do ciclotrón?

b) Cal debe ser o radio mínimo do electroimán que produce o campo?

Datos: carga do electrón $|e| = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$. Masa do protón $= 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ Kg}$.

10. Un ciclotrón posúe un diámetro de 1,04 m (diámetro da órbita maior).

a) Calcular en MeV a enerxía E_p dos protóns acelerados por este ciclotrón cando a frecuencia é de 12 MHz.

b) ¿Canto vale neste caso a indución magnética producida polo electroimán?

Datos: carga do electrón $|e| = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$. Masa do protón $= 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ Kg}$.

ANEXOS CICLOTRÓN

$$\frac{1}{2} m (v_2^2 - v_1^2) = q \cdot \Delta V = q \cdot E \cdot d$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot q \cdot E \cdot d}{m} + v_1^2} = \sqrt{\frac{2 \cdot q \cdot \Delta V}{m} + v_1^2}$$

$$q \cdot v \cdot B = m \cdot \frac{v^2}{R} \Rightarrow R = \frac{m \cdot v}{q \cdot B}$$

$$R = \sqrt{\frac{2 \cdot m \cdot E \cdot d}{q \cdot B^2}} = \sqrt{\frac{2 \cdot m \cdot \Delta V}{q \cdot B^2}}$$

$$\text{Si } E' = 2E \Rightarrow R' = \sqrt{2}R$$

$$\text{Si } B' = 2B \Rightarrow R' = \frac{R}{2}$$

$$v = \frac{q \cdot B \cdot R}{m} = 2\pi R \cdot f$$

$$f = \frac{q \cdot B}{2\pi \cdot m}$$