

Olimpiada Argentina de Física

Instancia Nacional 2024

Prueba Experimental



NIVEL 1

Reglas a tener en cuenta

Antes de comenzar la prueba:

- No consigne en ningún sitio de la prueba su nombre, apellido o DNI, de hacerlo: será causal de descalificación.
- Lea cuidadosamente **TODO** el enunciado de la prueba.

Durante la prueba:

- Sólo puede utilizar las hojas provistas, lapicera de tinta azul, regla milimetrada, útiles de geometría y una calculadora científica no programable. **Escriba únicamente con lapicera**, resaltados o uso de otros colores serán plausibles de descalificación.
- Cualquier **duda o consulta** que quiera realizar la debe hacer **únicamente por escrito al Profesor, en privado, al chat del Aula de la prueba.**
- Escriba la solución en las hojas provistas y numérelas. **No enumere las hojas del enunciado y no escriba respuestas en ellas pues no serán consideradas.**
- **Escriba de un solo lado de las hojas.**

Al finalizar la prueba:

- Escanee o fotografíe cuidadosa y **únicamente las hojas con sus respuestas** (descarte el enunciado). **Siempre debe estar primero la hoja de respuestas provista.**
- Con las imágenes genere un archivo .pdf.
Nombre el archivo .pdf con su nombre y apellido.
- Verifique que el archivo .pdf se ve correctamente y que las páginas están en el orden correcto. Entregue el mismo en el Classroom de la Prueba.

Determinación del calor latente de vaporización del nitrógeno.

El calor latente L es la energía necesaria para que una unidad de masa, de una sustancia, cambie de fase. Es decir,

$$Q = L m \quad (1)$$

donde Q es la cantidad de calor absorbida o cedida por la sustancia, m es la cantidad de masa que cambió de fase y L el calor latente necesario para la transición.

Para determinar el calor latente de vaporización del nitrógeno L_v , se medirá la masa (m) de nitrógeno evaporada cuando se le suministra una cantidad de calor conocida. Para ello, se utilizará una resistencia conectada a una fuente de tensión como se esquematiza en la figura 1.

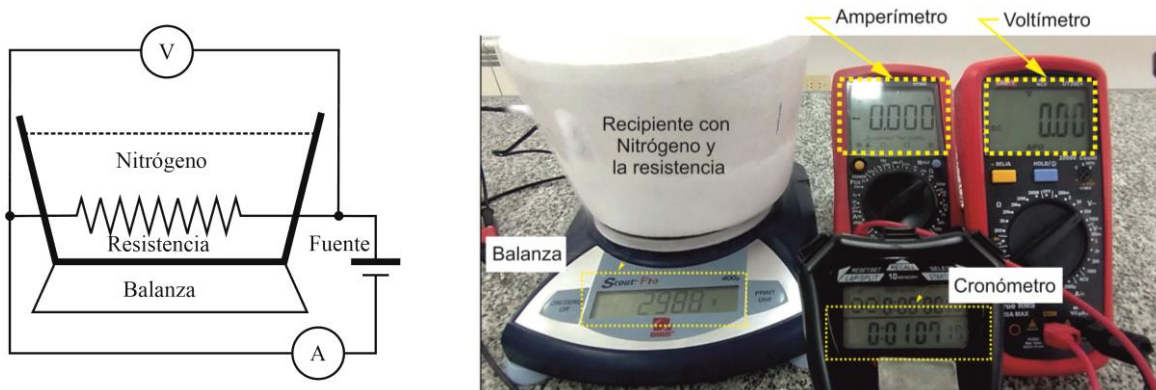


Figura 1. Montaje experimental.

La energía, por unidad de tiempo, disipada por la resistencia está dada por

$$W = I V \quad (2)$$

Donde I es la corriente que circula por la resistencia y V la diferencia de tensión aplicada a la misma.

Para el experimento se debe tener en cuenta que, debido a la diferencia entre la temperatura de ebullición del nitrógeno ($T_e = (77.4 \pm 0.3) K$) y la temperatura ambiente, cierta cantidad de nitrógeno se evapora por unidad de tiempo, dado que el ambiente suministra cierta cantidad de energía, por unidad de tiempo, al nitrógeno. Luego,

$$P + L_v \frac{\Delta m_p}{\Delta t} = 0 \quad (3)$$

donde $\frac{\Delta m_p}{\Delta t}$ es la masa de nitrógeno evaporada por unidad de tiempo debido a la diferencia de temperatura entre el nitrógeno y el medio ambiente, L_v es el calor latente de vaporización del nitrógeno y P es el calor absorbido por el nitrógeno debido a la diferencia de temperatura con el medioambiente.

Luego, cuando la resistencia disipa calor, es decir con la fuente prendida, se tiene

$$L_v \frac{\Delta m}{\Delta t} + P + W = 0 \quad (4)$$

Donde $\frac{\Delta m}{\Delta t}$ es la masa de nitrógeno evaporada por unidad de tiempo debido a la diferencia de temperatura entre el nitrógeno y el medio ambiente y debido a la energía entregada por la fuente.

Objetivo: Determinar el calor latente de vaporización del nitrógeno.

Procedimiento:

- a. A partir del video, reporte la variación de la masa de nitrógeno en función del tiempo en una tabla con sus correspondientes incertidumbres. Indique, en la misma, el instante en que se enciende la fuente.
Nota: Tenga en cuenta que, cuando la fuente se enciende, existe un intervalo de tiempo para que el sistema alcance un estado estacionario (es decir, la tasa de evaporación del nitrógeno sea constante).
- b. A partir del video, reporte el valor del voltaje V y la corriente I que circula por la resistencia con sus correspondientes incertidumbres. A partir de la ecuación (2) reporte la energía entregada por la fuente por unidad de tiempo con su correspondiente incertidumbre.
- c. Realice un gráfico de la masa de nitrógeno en función del tiempo.
- d. A partir del gráfico realice dos (2) ajustes lineales, para cada tramo del experimento (fuente prendida y fuente apagada) y determine la variación de la masa del nitrógeno por unidad de tiempo con la fuente apagada $\frac{\Delta m_p}{\Delta t}$ y con la fuente prendida $\frac{\Delta m}{\Delta t}$ con sus correspondientes incertidumbres.
- e. A partir de las ecuaciones (3) y (4), determine el calor latente de vaporización del nitrógeno L_v con su correspondiente incertidumbre.

Observaciones:

- Incertidumbre asociada al voltaje V

$$1\% \text{ Lectura} + 2 \times \text{Apreciación}$$

- Incertidumbre asociada a la corriente I

$$2\% \text{ Lectura} + 2 \times \text{Apreciación}$$

Prueba Experimental
Hoja de respuestas

		Puntaje
a.	Tabla de Mediciones	
b.	$V =$ $I =$ $W =$	
c.	Gráfico	
d.	$\frac{\Delta m_p}{\Delta t} =$ $\frac{\Delta m}{\Delta t} =$	
e.	$L_v =$	

Olimpiada Argentina de Física

Instancia Nacional 2024

Prueba Experimental



NIVEL 2

Reglas a tener en cuenta

Antes de comenzar la prueba:

- No consigne en ningún sitio de la prueba su nombre, apellido o DNI, de hacerlo: será causal de descalificación.
- Lea cuidadosamente **TODO** el enunciado de la prueba.

Durante la prueba:

- Sólo puede utilizar las hojas provistas, lapicera de tinta azul, regla milimetrada, útiles de geometría y una calculadora científica no programable. **Escriba únicamente con lapicera**, resaltados o uso de otros colores serán plausibles de descalificación.
- Cualquier **duda o consulta** que quiera realizar la debe hacer **únicamente por escrito al Profesor, en privado, al chat del Aula de la prueba.**
- Escriba la solución en las hojas provistas y numérelas. **No enumere las hojas del enunciado y no escriba respuestas en ellas pues no serán consideradas.**
- **Escriba de un solo lado de las hojas.**

Al finalizar la prueba:

- Escanee o fotografíe cuidadosa y **únicamente las hojas con sus respuestas** (descarte el enunciado). **Siempre debe estar primero la hoja de respuestas provista.**
- Con las imágenes genere un archivo .pdf.
Nombre el archivo .pdf con su nombre y apellido.
- Verifique que el archivo .pdf se ve correctamente y que las páginas están en el orden correcto. Entregue el mismo en el Classroom de la Prueba.

Determinación del calor latente de vaporización del nitrógeno.

El calor latente L es la energía necesaria para que una unidad de masa, de una sustancia, cambie de fase. Es decir,

$$Q = L m \quad (1)$$

donde Q es la cantidad de calor absorbida o cedida por la sustancia, m es la cantidad de masa que cambió de fase y L el calor latente necesario para la transición.

Para determinar el calor latente de vaporización del nitrógeno L_v , se medirá la masa (m) de nitrógeno evaporada cuando se le suministra una cantidad de calor conocida. Para ello, se utilizará una resistencia conectada a una fuente de tensión como se esquematiza en la figura 1.

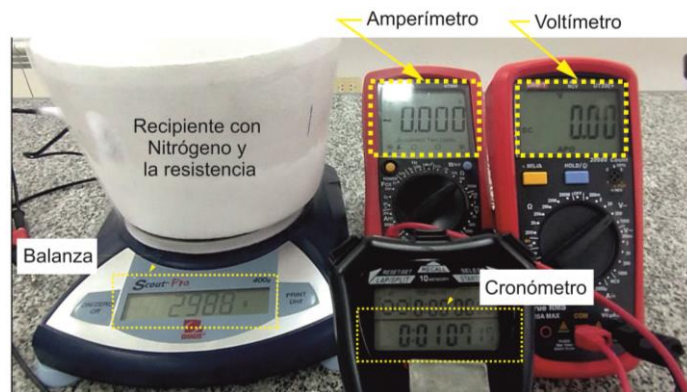
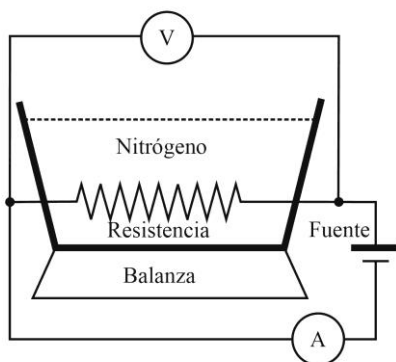


Figura 1. Montaje experimental.

La energía, por unidad de tiempo, disipada por la resistencia está dada por

$$W = I V \quad (2)$$

Donde I es la corriente que circula por la resistencia y V la diferencia de tensión aplicada a la misma.

Para el experimento se debe tener en cuenta que, debido a la diferencia entre la temperatura de ebullición del nitrógeno ($T_e = (77.4 \pm 0.3) K$) y la temperatura ambiente, cierta cantidad de nitrógeno se evapora por unidad de tiempo, dado que el ambiente suministra cierta cantidad de energía, por unidad de tiempo, al nitrógeno. Luego,

$$P + L_v \frac{\Delta m_p}{\Delta t} = 0 \quad (3)$$

donde $\frac{\Delta m_p}{\Delta t}$ es la masa de nitrógeno evaporada por unidad de tiempo debido a la diferencia de temperatura entre el nitrógeno y el medio ambiente, L_v es el calor latente de vaporización del nitrógeno y P es el calor absorbido por el nitrógeno debido a la diferencia de temperatura con el medioambiente.

Luego, cuando la resistencia disipa calor, es decir con la fuente prendida, se tiene

$$L_v \frac{\Delta m}{\Delta t} + P + W = 0 \quad (4)$$

Donde $\frac{\Delta m}{\Delta t}$ es la masa de nitrógeno evaporada por unidad de tiempo debido a la diferencia de temperatura entre el nitrógeno y el medio ambiente y debido a la energía entregada por la fuente.

Objetivo: Determinar el calor latente de vaporización del nitrógeno.

Procedimiento:

- a. A partir del video, reporte la variación de la masa de nitrógeno en función del tiempo en una tabla con sus correspondientes incertidumbres. Indique, en la misma, el instante en que se enciende la fuente.
Nota: Tenga en cuenta que, cuando la fuente se enciende, existe un intervalo de tiempo para que el sistema alcance un estado estacionario (es decir, la tasa de evaporación del nitrógeno sea constante).
- b. A partir del video, reporte el valor del voltaje V y la corriente I que circula por la resistencia con sus correspondientes incertidumbres.
- c. Realice un gráfico de la masa de nitrógeno en función del tiempo.
- d. A partir de ajustes lineales, evalúe la cantidad de nitrógeno que se evapora, por unidad de tiempo, debido al intercambio de calor entre el nitrógeno y el ambiente y la cantidad de nitrógeno que se evapora cuando se enciende la fuente de tensión con sus correspondientes incertidumbres.
- e. Determine el calor latente de vaporización del nitrógeno con su correspondiente incertidumbre.

Observaciones:

- Incertidumbre asociada al voltaje V

$$1\% \text{ Lectura} + 2 \times \text{Apreciación}$$

- Incertidumbre asociada a la corriente I

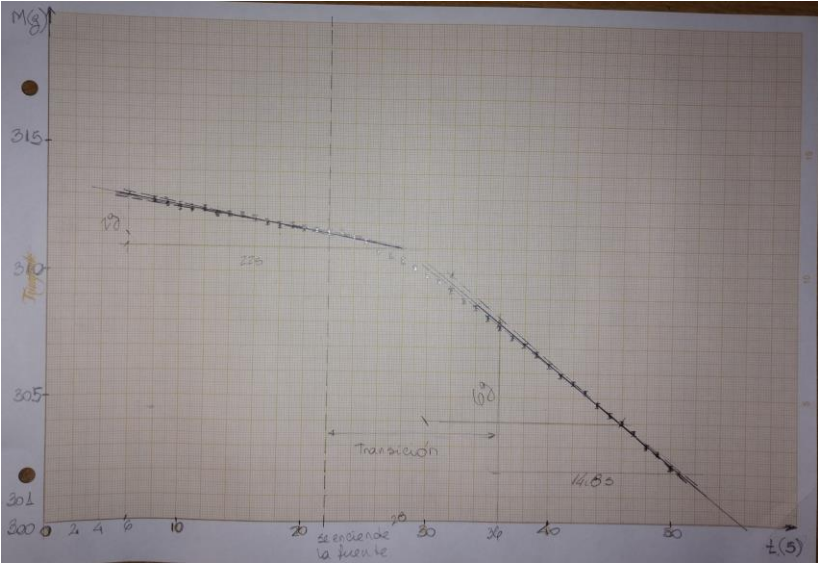
$$2\% \text{ Lectura} + 2 \times \text{Apreciación}$$

Prueba Experimental
Hoja de respuestas

		Puntaje
a.	Tabla de Mediciones	
b.	$V =$ $I =$	
c.	Gráfico	
d.	$\frac{\Delta m_p}{\Delta t} =$ $\frac{\Delta m}{\Delta t} =$	
e.	$L_v =$	

Prueba Experimental
Hoja de respuestas - Nivel 1
Solución

		Puntaje																																																																																												
a.	<table border="1"> <thead> <tr> <th>$t [s] \pm 0,2s$</th> <th>$M[g] \pm 0,1g$</th> <th>$t [s] \pm 0,2s$</th> <th>$M[g] \pm 0,1g$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>8,0</td><td>312,8</td><td>30,0</td><td>309,9</td></tr> <tr><td>9,0</td><td>312,7</td><td>31,0</td><td>309,7</td></tr> <tr><td>10,0</td><td>312,6</td><td>32,0</td><td>309,3</td></tr> <tr><td>11,0</td><td>312,5</td><td>33,0</td><td>308,9</td></tr> <tr><td>12,0</td><td>312,5</td><td>34,0</td><td>308,6</td></tr> <tr><td>13,0</td><td>312,3</td><td>35,0</td><td>308,2</td></tr> <tr><td>14,0</td><td>312,3</td><td>36,0</td><td>307,8</td></tr> <tr><td>15,0</td><td>312,2</td><td>37,0</td><td>307,4</td></tr> <tr><td>16,0</td><td>312,1</td><td>38,0</td><td>307,1</td></tr> <tr><td>17,0</td><td>312,0</td><td>39,0</td><td>306,8</td></tr> <tr><td>18,0</td><td>311,9</td><td>40,0</td><td>306,3</td></tr> <tr><td>19,0</td><td>311,9</td><td>41,0</td><td>305,9</td></tr> <tr><td>20,0</td><td>311,8</td><td>42,0</td><td>305,6</td></tr> <tr><td>21,0</td><td>311,7</td><td>43,0</td><td>305,2</td></tr> <tr><td>22,0</td><td>311,6</td><td>44,0</td><td>304,7</td></tr> <tr><td>23,0</td><td>311,6</td><td>45,0</td><td>304,3</td></tr> <tr><td>24,0</td><td>311,4</td><td>46,0</td><td>304,0</td></tr> <tr><td>25,0</td><td>311,2</td><td>47,0</td><td>303,6</td></tr> <tr><td>26,0</td><td>310,9</td><td>48,0</td><td>303,0</td></tr> <tr><td>27,0</td><td>310,7</td><td>49,0</td><td>302,8</td></tr> <tr><td>28,0</td><td>310,5</td><td>50,0</td><td>302,2</td></tr> <tr><td>29,0</td><td>310,2</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table> <p>Al tiempo $t = 22s$ se enciende la fuente.</p>	$t [s] \pm 0,2s$	$M[g] \pm 0,1g$	$t [s] \pm 0,2s$	$M[g] \pm 0,1g$	8,0	312,8	30,0	309,9	9,0	312,7	31,0	309,7	10,0	312,6	32,0	309,3	11,0	312,5	33,0	308,9	12,0	312,5	34,0	308,6	13,0	312,3	35,0	308,2	14,0	312,3	36,0	307,8	15,0	312,2	37,0	307,4	16,0	312,1	38,0	307,1	17,0	312,0	39,0	306,8	18,0	311,9	40,0	306,3	19,0	311,9	41,0	305,9	20,0	311,8	42,0	305,6	21,0	311,7	43,0	305,2	22,0	311,6	44,0	304,7	23,0	311,6	45,0	304,3	24,0	311,4	46,0	304,0	25,0	311,2	47,0	303,6	26,0	310,9	48,0	303,0	27,0	310,7	49,0	302,8	28,0	310,5	50,0	302,2	29,0	310,2			5 ptos
$t [s] \pm 0,2s$	$M[g] \pm 0,1g$	$t [s] \pm 0,2s$	$M[g] \pm 0,1g$																																																																																											
8,0	312,8	30,0	309,9																																																																																											
9,0	312,7	31,0	309,7																																																																																											
10,0	312,6	32,0	309,3																																																																																											
11,0	312,5	33,0	308,9																																																																																											
12,0	312,5	34,0	308,6																																																																																											
13,0	312,3	35,0	308,2																																																																																											
14,0	312,3	36,0	307,8																																																																																											
15,0	312,2	37,0	307,4																																																																																											
16,0	312,1	38,0	307,1																																																																																											
17,0	312,0	39,0	306,8																																																																																											
18,0	311,9	40,0	306,3																																																																																											
19,0	311,9	41,0	305,9																																																																																											
20,0	311,8	42,0	305,6																																																																																											
21,0	311,7	43,0	305,2																																																																																											
22,0	311,6	44,0	304,7																																																																																											
23,0	311,6	45,0	304,3																																																																																											
24,0	311,4	46,0	304,0																																																																																											
25,0	311,2	47,0	303,6																																																																																											
26,0	310,9	48,0	303,0																																																																																											
27,0	310,7	49,0	302,8																																																																																											
28,0	310,5	50,0	302,2																																																																																											
29,0	310,2																																																																																													
b.	$V = (19,1 \pm 0,2)V$ $I = (3,82 \pm 0,08)A$ $W = (73 \pm 2)W$ <p>Donde la incertidumbre de W se determinó mediante:</p> $\frac{\Delta W}{W} = \frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta I}{I}$	3 ptos																																																																																												

c.		5 ptos
d.	$\frac{\Delta m_p}{\Delta t} = (-0,09 \pm 0,02) g s^{-1}$ $\frac{\Delta m}{\Delta t} = (-0,41 \pm 0,02) g s^{-1}$	4 ptos
f.	<p>Donde</p> $L_v = (230 \pm 40) J g^{-1}$ $L_v = \frac{W}{\frac{\Delta m_p}{\Delta t} - \frac{\Delta m}{\Delta t}}$ $\frac{\Delta L_v}{L_v} = \frac{\Delta W}{W} + \frac{\Delta(Dm)}{(Dm)}$ $Dm = \frac{\Delta m_p}{\Delta t} - \frac{\Delta m}{\Delta t}$ $\Delta(Dm) = \Delta\left(\frac{\Delta m_p}{\Delta t}\right) + \Delta\left(\frac{\Delta m}{\Delta t}\right)$	3 ptos

Prueba Experimental
Hoja de respuestas - Nivel 2
Solución

		Puntaje
a.	Tabla de Mediciones	5 pts
b.	$V =$ $I =$	2 pts
c.	Gráfico	5 pts
d.	$\frac{\Delta m_p}{\Delta t} =$ $\frac{\Delta m}{\Delta t} =$	5 pts
e.	$L_v =$	3 pts

Olimpiada Argentina de Física

Instancia Nacional 2024

Prueba Teórica



NIVEL 1

Reglas a tener en cuenta

Antes de comenzar la prueba:

- No consigne en ningún sitio de la prueba su nombre, apellido o DNI, de hacerlo: será causal de descalificación.
- Lea cuidadosamente **TODO** el enunciado de la prueba.

Durante la prueba:

- Sólo puede utilizar las hojas provistas, lapicera de tinta azul, regla milimetrada, útiles de geometría y una calculadora científica no programable. **Escriba únicamente con lapicera**, resaltados o uso de otros colores serán plausibles de descalificación.
- Cualquier **duda o consulta** que quiera realizar la debe hacer **únicamente por escrito al Profesor, en privado, al chat del Aula de la prueba.**
- La solución de cada problema teórico debe comenzar en una nueva hoja.
- Escriba la solución en las hojas provistas y numérelas **por problema**. **No enumere las hojas del enunciado y no escriba respuestas en ellas pues no serán consideradas.**
- **Escriba de un solo lado de las hojas.**

Al finalizar la prueba:

- Escanee o fotografíe cuidadosa y **únicamente las hojas con sus respuestas** (descarte el enunciado). **Antes de la solución a cada problema siempre debe estar la correspondiente hoja de respuestas provista.**
- Con las imágenes de cada problema genere tres archivos .pdf. **Nombre cada archivo .pdf con el número de problema correspondiente, su nombre y apellido.**
- Verifique que los archivos .pdf se ven correctamente y que las páginas están en el orden correcto. Entregue los mismos en el Classroom de la Prueba.

Problema Teórico 1

Movimiento de un cuerpo sobre un plano inclinado.

- a) Supongamos que un cilindro de radio R y masa M se coloca sobre un plano inclinado a una altura H respecto del piso (ver figura 1). Este plano subtende un ángulo α respecto a la horizontal y no existe rozamiento entre el cilindro y el piso. Si inicialmente el cilindro está en reposo:
- Calcule la aceleración del centro de masa del cilindro cuando este se mueve sobre el plano inclinado.
 - Determine la velocidad del centro de masa del cilindro cuando llega a la superficie horizontal.

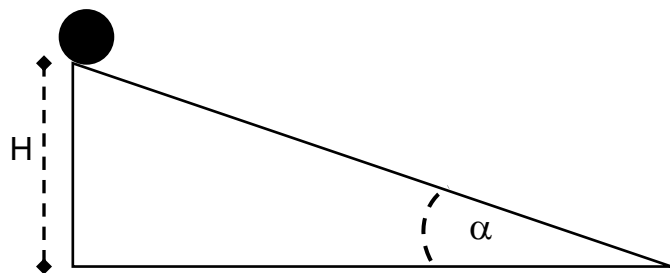


Figura 1

- b) Suponga ahora que existe rozamiento entre el cilindro y la superficie del plano inclinado, de manera que ahora éste rueda sin deslizar. Si inicialmente el cilindro está en reposo:
- Sabiendo que el momento de inercia de un cilindro de masa M y radio R , respecto a su centro de masa, es $I = M R^2/2$, determine, para este caso, la velocidad del centro de masa del cilindro al llegar a la superficie horizontal.
 - Calcule el valor de la fuerza de rozamiento existente entre el cilindro y la superficie del plano inclinado.
 - Calcule el trabajo realizado por la fuerza de rozamiento.

Datos: $M = 0,1$ kg; $R = L = 1$ cm; $H = 1$ m, $\alpha = 30^\circ$ y $g = 10$ m/s².

Problema Teórico 1 - NIVEL 1

Hoja de respuestas

		Puntaje
a.i)		
a.ii)		
b.i)		
b.ii)		
b.iii)		

Problema Teórico 2

Ingenioso acelerador de partículas

Un acelerador de partículas es un dispositivo diseñado para acelerar partículas cargadas, como protones, a grandes velocidades. Estas partículas, al interactuar con un objetivo o con otras partículas, permiten explorar el mundo subatómico y estudiar la estructura de los núcleos y las fuerzas nucleares fundamentales.

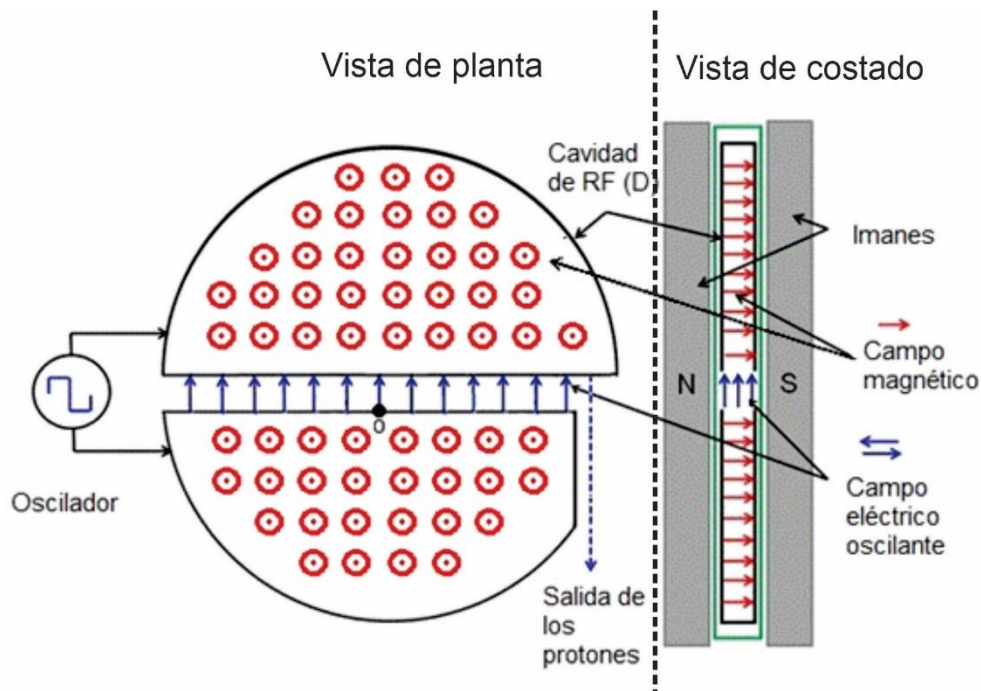


Figura 1. Esquema del acelerador de protones.

Aquí presentamos un ingenioso dispositivo para acelerar partículas cuyo principio de funcionamiento se basa en el empleo de un campo magnético uniforme, generado por un imán, y una cavidad de aceleración que se extiende por toda la apertura del imán, como se muestra en la figura 1. En la cavidad, no hay campo magnético y solo existe un campo eléctrico que varía periódicamente en el tiempo y es perpendicular al campo magnético. Este campo eléctrico solo se encuentra en la cavidad de aceleración.

Las órbitas de las partículas ocurren principalmente en el interior del imán y se deben al campo magnético presente dado que esta región está libre de campo eléctrico. Debido a la presencia del campo magnético, las partículas atraviesan la cavidad de aceleración dos veces por revolución. Como la velocidad de las partículas aumentan cuando atraviesan la cavidad de aceleración, las trayectorias de estas son espirales hacia radios cada vez más grandes, hasta llegar a un radio máximo donde sale del acelerador con su máxima energía.

Considerar en todos los casos que las velocidades son no relativistas.

Considere un acelerador de este tipo, donde se utiliza un campo magnético de $1,4 T$, en la dirección dada en la figura 1 (perpendicular y saliente de la página), y que el campo eléctrico de aceleración aplicado en la cavidad proviene de un

oscilador que genera un potencial eléctrico $V(t)$, como se muestra en la figura 2, con $V_0 = 4000V$. Este dispositivo se utiliza para acelerar protones, que parten del reposo desde el punto o y que estos se encuentran en el acelerador hasta alcanzar un radio máximo de orbita $r_{max} = 11cm$.

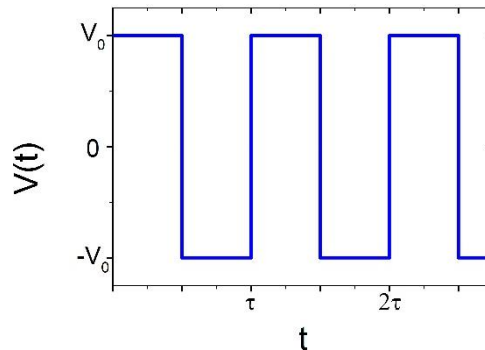


Figura 2. Potencial periódico generado por el oscilador que genera el campo eléctrico en la cavidad de aceleración.

- Determine la velocidad del protón v_1 cuando ingresa por primera vez a la región de campo magnético. Considere que el campo eléctrico en la cavidad de aceleración es uniforme y que el ancho de la misma es $d = 0,1mm$.
- Determine la posición x_1 , respecto al punto o , del punto en el cual el protón ingresa en la región de campo magnético por segunda vez.
- Realice un esquema de la trayectoria del protón en el acelerador.
- Determine el periodo máximo (τ) de la función $V(t)$ para que el acelerador funcione de manera sincronizada, es decir que los protones se aceleren cada vez que pasen por la cavidad de aceleración. Suponga que el tiempo empleado para recorrer la cavidad de aceleración es despreciable.
- Determine la velocidad máxima v_m de las partículas a la salida del acelerador y su correspondiente energía cinética máxima K_m expresada en electronvoltios (eV). ¿Qué porcentaje de la velocidad de la luz alcanza al salir?

Datos útiles:

- Masa del protón: $m_p = 1,672 \times 10^{-27}kg$
- Carga eléctrica del protón: $q_p = 1,602 \times 10^{-19}C$
- Velocidad de la luz: $c = 2,998 \times 10^8 m/s$
- Un electronvoltio es la energía que gana un electrón al ser acelerado por un potencial de 1 voltio.

Problema Teórico 2 - NIVEL 1
Hoja de Respuestas

		Puntaje
a.	$v_1 =$	
b.	$x_1 =$	
c.		
d.	$\tau =$	
e.	$v_s =$ $K_s =$ Porcentaje de la velocidad de la luz:	

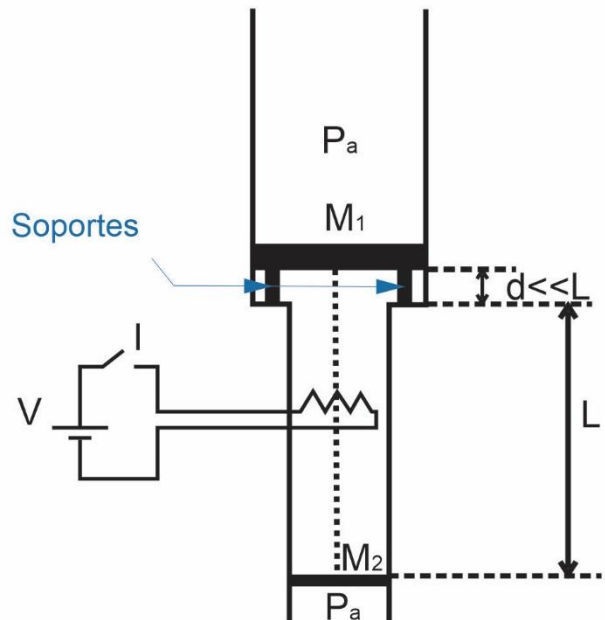
Problema Teórico 3

Ascensor termodinámico

Con el objetivo de subir los repuestos desde el subsuelo, un negocio instala un elevador termodinámico como el mostrado en la figura.

El dispositivo consta de un tubo cuadrado vertical con secciones diferentes. La parte superior tiene un lado $l_1 = 0,5 \text{ m}$ y la inferior un lado $l_2 = 0,4 \text{ m}$. Dentro del tubo hay dos émbolos de masas $M_1 = 8 \text{ kg}$ y $M_2 = 2 \text{ kg}$ unidos por una cadena inextensible, de longitud $L = 3 \text{ m}$ y su masa es $m_c = 2 \text{ kg}$. Los émbolos deslizan sin fricción y todo el sistema está aislado térmicamente.

El émbolo superior está apoyado sobre dos soportes, de tamaño y altura d despreciables como se muestra en la figura.



Comprendido entre los émbolos hay gas helio monoatómico ($\rho = 0,178 \text{ kg/m}^3$) a presión atmosférica ($P_a = 1,01 \times 10^5 \text{ Pa}$) de tal manera que la base inferior de M_1 se apoya sobre la base del tubo cuadrado superior. Inicialmente la temperatura de todo el sistema es $T_a = 293 \text{ K}$.

- a) Determine la masa de helio encerrada entre los émbolos.

Con el objeto de levantar los émbolos, al helio encerrado se le suministra lentamente calor mediante la resistencia eléctrica al cerrar el interruptor I .

- b) ¿Cuál es el valor de la presión crítica, p_c , a la cual los émbolos comenzarán su ascenso?

Desde el estado inicial hasta que los émbolos comienzan a ascender:

- c) ¿Qué tipo de proceso tiene lugar?
d) ¿Cuál es la temperatura T_1 del helio al comenzar el ascenso?
e) ¿Cuánto calor, Q_1 , ha sido necesario suministrar para que M_1 empiece a subir?

Si la resistencia es de 1000Ω y el tiempo que tiene que estar conectada la batería para suministrar el calor Q_1 es 6 minutos ,

- f) ¿Cuál es el voltaje de la fuente?

Problema Teórico 3 - NIVEL 1
Hoja de respuestas

		Puntaje
a.	$M_{He} =$	
b.	$P_C =$	
c.	Proceso:	
d.	$T_1 =$	
e.	$Q_1 =$	
f.	$V =$	

Olimpiada Argentina de Física
Instancia Nacional 2024
Prueba Teórica



NIVEL 2

Reglas a tener en cuenta

Antes de comenzar la prueba:

- No consigne en ningún sitio de la prueba su nombre, apellido o DNI, de hacerlo: será causal de descalificación.
- Lea cuidadosamente **TODO** el enunciado de la prueba.

Durante la prueba:

- Sólo puede utilizar las hojas provistas, lapicera de tinta azul, regla milimetrada, útiles de geometría y una calculadora científica no programable. **Escriba únicamente con lapicera**, resaltados o uso de otros colores serán plausibles de descalificación.
- Cualquier **duda o consulta** que quiera realizar la debe hacer **únicamente por escrito al Profesor, en privado, al chat del Aula de la prueba.**
- La solución de cada problema teórico debe comenzar en una nueva hoja.
- Escriba la solución en las hojas provistas y numérelas **por problema**. **No enumere las hojas del enunciado y no escriba respuestas en ellas pues no serán consideradas.**
- **Escriba de un solo lado de las hojas.**

Al finalizar la prueba:

- Escanee o fotografíe cuidadosa y **únicamente las hojas con sus respuestas** (descarte el enunciado). **Antes de la solución a cada problema siempre debe estar la correspondiente hoja de respuestas provista.**
- Con las imágenes de cada problema genere tres archivos .pdf. **Nombre cada archivo .pdf con el número de problema correspondiente, su nombre y apellido.**
- Verifique que los archivos .pdf se ven correctamente y que las páginas están en el orden correcto. Entregue los mismos en el Classroom de la Prueba.

Problema Teórico 1

Movimiento de un cuerpo sobre un plano inclinado.

- a) Supongamos que un cilindro de radio R y masa M se coloca sobre un plano inclinado a una altura H respecto del piso (ver figura 1). Este plano subtende un ángulo α respecto a la horizontal y no existe rozamiento entre el cilindro y el piso. Si inicialmente el cilindro está en reposo:
- Calcule la aceleración del centro de masa del cilindro cuando este se mueve sobre el plano inclinado.
 - Determine la velocidad del centro de masa del cilindro cuando llega a la superficie horizontal.

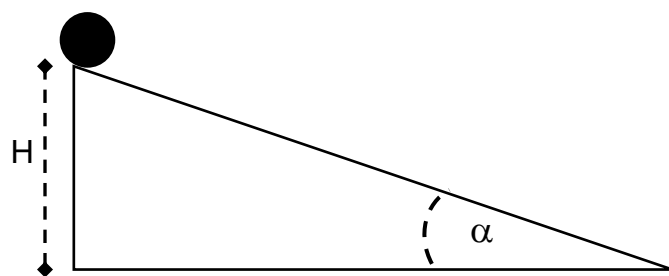


Figura 1

- b) Suponga ahora que existe rozamiento entre el cilindro y la superficie del plano inclinado, de manera que ahora éste rueda sin deslizar. Si inicialmente el cilindro está en reposo:
- Sabiendo que el momento de inercia de un cilindro de masa M y radio R , respecto a su centro de masa, es $I = M R^2/2$, determine, para este caso, la velocidad del centro de masa del cilindro al llegar a la superficie horizontal.
 - Calcule el valor de la fuerza de rozamiento existente entre el cilindro y la superficie del plano inclinado.
 - Calcule el trabajo realizado por la fuerza de rozamiento.
- c) Suponga ahora que colocamos sobre el plano inclinado un prisma de masa M , cuya base es un hexágono regular de lado L , el cual está apoyado sobre una de sus caras (ver figura 2). El rozamiento existente entre la superficie del plano inclinado y el prisma no permite que este deslice.
- Determine el máximo valor del ángulo β para el cual el prisma no rotará sobre uno de sus vértices.

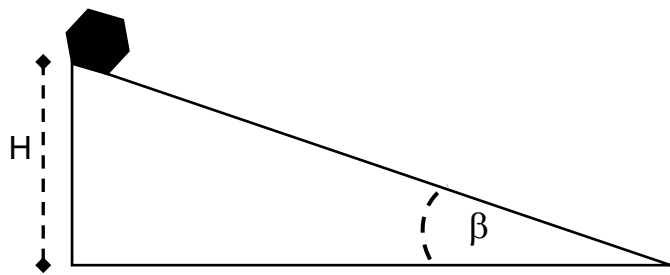


Figura 2

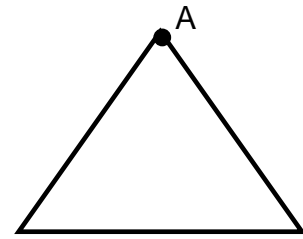


Figura 3

- ii) Sabiendo que el momento de inercia de un prisma cuya base es un triángulo equilátero de longitud de lado L , respecto a uno de sus vértices, es $I_A = 5 mL^2/12$ (donde $m = M/6$) calcule
- 1) El momento de inercia del prisma respecto a su centro de masa.
 - 2) El momento de inercia del prisma respecto a uno de sus vértices.
- iii) Suponiendo $\beta = \alpha/2$ y que inicialmente el prisma está apoyado en reposo sobre una de sus caras. ¿Qué condición debe cumplir la velocidad angular inicial que deberíamos darle al prisma, de manera tal que comience a rotar sobre el plano inclinado?

Datos: $M = 0,1 \text{ kg}$; $R = L = 1 \text{ cm}$; $H = 1 \text{ m}$, $\alpha = 30^\circ$ y $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Problema Teórico 1 - NIVEL 2
Hoja de respuestas

		Puntaje
a.i)		
a.ii)		
b.i)		
b.ii)		
b.iii)		
c.i)		
c.ii_1)		
c.ii_2)		
c.iii)		

Problema Teórico 2

Ingenioso acelerador de partículas

Un acelerador de partículas es un dispositivo diseñado para acelerar partículas cargadas, como protones, a grandes velocidades. Estas partículas, al interactuar con un objetivo o con otras partículas, permiten explorar el mundo subatómico y estudiar la estructura de los núcleos y las fuerzas nucleares fundamentales.

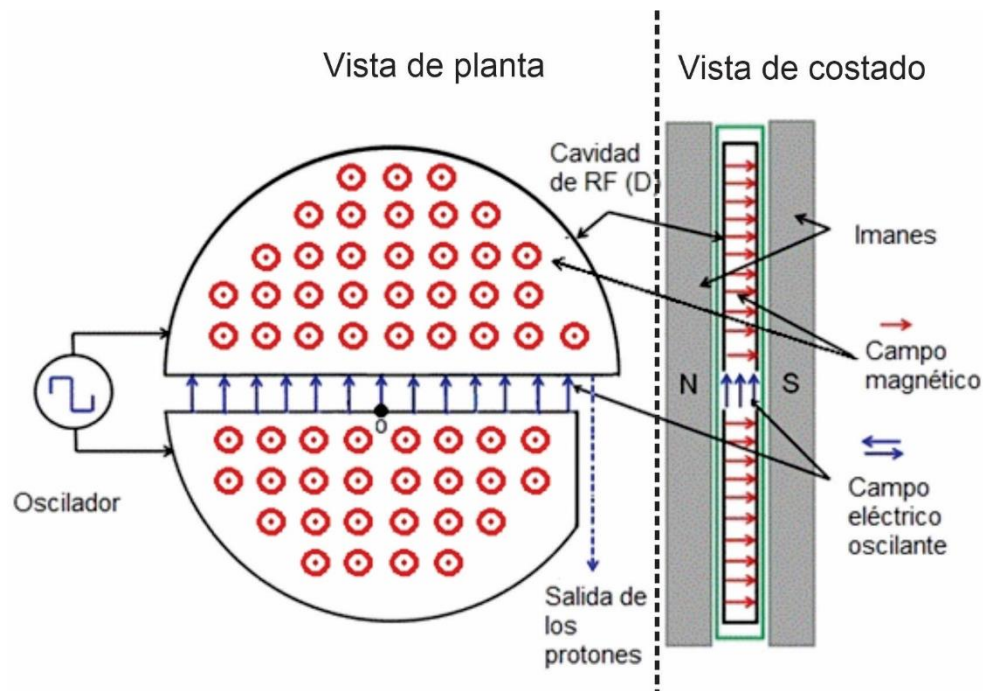


Figura 1. Esquema del acelerador de protones.

Aquí presentamos un ingenioso dispositivo para acelerar partículas cuyo principio de funcionamiento se basa en el empleo de un campo magnético uniforme, generado por un imán, y una cavidad de aceleración que se extiende por toda la apertura del imán, como se muestra en la figura 1. En la cavidad, no hay campo magnético y solo existe un campo eléctrico que varía periódicamente en el tiempo y es perpendicular al campo magnético. Este campo eléctrico solo se encuentra en la cavidad de aceleración.

Las órbitas de las partículas ocurren principalmente en el interior del imán y se deben al campo magnético presente dado que esta región está libre de campo eléctrico. Debido a la presencia del campo magnético, las partículas atraviesan la cavidad de aceleración dos veces por revolución. Como la velocidad de las partículas aumentan cuando atraviesan la cavidad de aceleración, las trayectorias de estas son espirales hacia radios cada vez más grandes, hasta llegar a un radio máximo donde sale del acelerador con su máxima energía.

Considerar en todos los casos que las velocidades son no relativistas.

Considere un acelerador de este tipo, donde se utiliza un campo magnético de $1,4 T$, en la dirección dada en la figura 1 (perpendicular y saliente de la página), y que el campo eléctrico de aceleración aplicado en la cavidad proviene de un

oscilador que genera un potencial eléctrico $V(t)$, como se muestra en la figura 2, con $V_0 = 4000V$. Este dispositivo se utiliza para acelerar protones, que parten del reposo desde el punto o y que estos se encuentran en el acelerador hasta alcanzar un radio máximo de orbita $r_{max} = 11cm$.

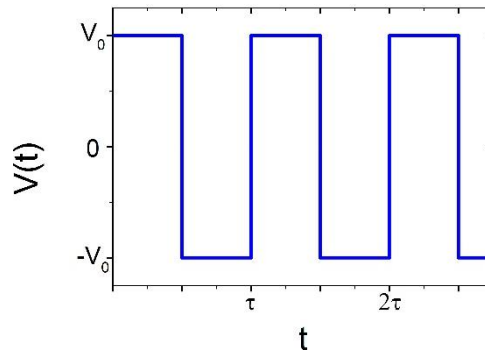


Figura 2. Potencial periódico generado por el oscilador que genera el campo eléctrico en la cavidad de aceleración.

- Determine la velocidad del protón v_1 cuando ingresa por primera vez a la región de campo magnético. Considere que el campo eléctrico en la cavidad de aceleración es uniforme y que el ancho de la misma es $d = 0,1mm$.
- Determine la posición x_1 , respecto al punto o , del punto en el cual el protón ingresa en la región de campo magnético por segunda vez.
- Realice un esquema de la trayectoria del protón en el acelerador.
- Determine el periodo máximo (τ) de la función $V(t)$ para que el acelerador funcione de manera sincronizada, es decir que los protones se aceleren cada vez que pasen por la cavidad de aceleración. Suponga que el tiempo empleado para recorrer la cavidad de aceleración es despreciable.
- Determine la velocidad máxima v_m de las partículas a la salida del acelerador y su correspondiente energía cinética máxima K_m expresada en electronvoltios (eV). ¿Qué porcentaje de la velocidad de la luz alcanza al salir?
- Determine el número N máximo de revoluciones completas que da la partícula, desde el reposo, hasta salir del acelerador.

Si se quiere duplicar la energía cinética de salida del protón usando las mismas dimensiones del acelerador:

- ¿Que parámetro y cuánto debo modificarlo para obtener dicho resultado?

Si se duplica la magnitud de V_0

- Determine la energía cinética de los protones al salir K'_s y la cantidad de vueltas N' que da el protón para salir del acelerador en este caso.

En 1914, De Broglie postuló que cualquier partícula libre con momento lineal p tiene asociada una onda (dualidad onda-partícula) de longitud de onda λ dada por,

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

Donde h es la constante de Planck.

Dada esta dualidad es posible realizar experimentos de difracción con partículas. En la figura 3 (Izquierda) se muestra un esquema experimental para la difracción de una onda de intensidad I_0 y longitud de onda λ cuando la misma atraviesa una rendija de ancho b . Es posible mostrar que, sobre una pantalla ubicada a una distancia $D \gg b$, se obtiene una distribución de intensidad $I(\theta)$ dada por la siguiente expresión:

$$I(\theta) = I_0 \left[\frac{\text{seno}(\beta)}{\beta} \right]^2$$

representada en la figura 3 (Derecha) y donde:

$$\beta = \frac{\pi b}{\lambda} \text{seno}(\theta)$$

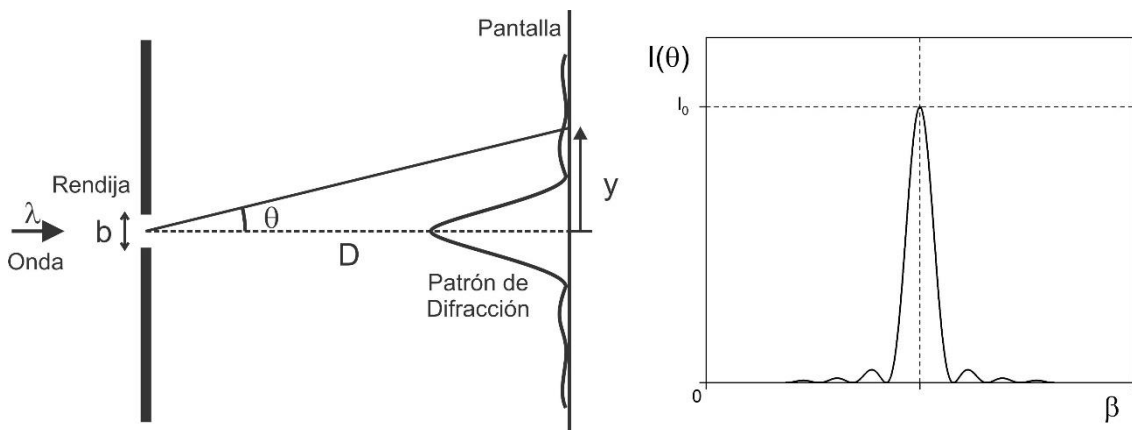


Figura 3 (Izquierda). Esquema experimental para la difracción de una onda. (Derecha). Distribución de intensidad $I(\theta)$.

- i) Determine el ancho a del máximo central del patrón de difracción cuando los protones que salen del acelerador inciden sobre una rendija de ancho $b = 0,6 \text{ pm}$ y la pantalla se encuentra ubicada a una distancia $D = 1 \text{ m}$ de la rendija.

Datos útiles:

- Masa del protón: $m_p = 1,672 \times 10^{-27} \text{ kg}$
- Carga eléctrica del protón: $q_p = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$

- Velocidad de la luz: $c = 2,998 \times 10^8 \text{ m/s}$
- Constante de Planck: $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ Js}$
- Un electronvoltio es la energía que gana un electrón al ser acelerado por un potencial de 1 voltio.

Problema Teórico 2 - NIVEL 2
Hoja de Respuestas

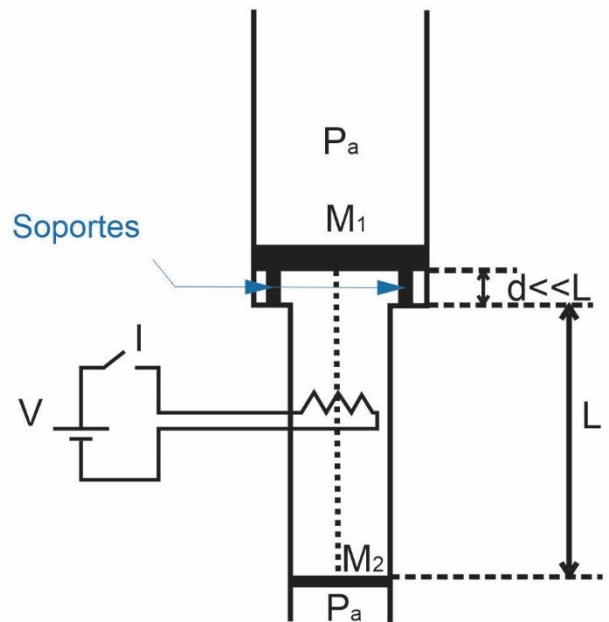
		Puntaje
a.	$v_1 =$	
b.	$x_1 =$	
c.		
d.	$\tau =$	
e.	$v_s =$ $K_s =$ Porcentaje de la velocidad de la luz:	
f.	$N =$	
g.		
h.	$K'_s =$ $N' =$	
i.	$a =$	

Problema Teórico 3

Ascensor termodinámico

Con el objetivo de subir los repuestos desde el subsuelo, un negocio instala un elevador termodinámico como el mostrado en la figura. El dispositivo consta de un tubo cuadrado vertical con secciones diferentes. La parte superior tiene un lado $l_1 = 0,5\text{ m}$ y la inferior un lado $l_2 = 0,4\text{ m}$. Dentro del tubo hay dos émbolos de masas $M_1 = 8\text{ kg}$ y $M_2 = 2\text{ kg}$ unidos por una cadena inextensible, de longitud $L = 3\text{ m}$ y su masa es $m_c = 2\text{ kg}$. Los émbolos deslizan sin fricción y todo el sistema está aislado térmicamente.

El émbolo superior está apoyado sobre dos soportes, de tamaño y altura d despreciables como se muestra en la figura.



Comprendido entre los émbolos hay gas helio monoatómico ($\rho = 0,178\text{ kg/m}^3$) a presión atmosférica ($P_a = 1,01 \times 10^5\text{ Pa}$) de tal manera que la base inferior de M_1 se apoya sobre la base del tubo cuadrado superior. Inicialmente la temperatura de todo el sistema es $T_a = 293\text{ K}$.

- a) Determine la masa de helio encerrada entre los émbolos.

Con el objeto de levantar los émbolos, al helio encerrado se le suministra lentamente calor mediante la resistencia eléctrica al cerrar el interruptor I .

- b) ¿Cuál es el valor de la presión crítica, p_c , a la cual los émbolos comenzarán su ascenso?

Desde el estado inicial hasta que los émbolos comienzan a ascender:

- c) ¿Qué tipo de proceso tiene lugar?
d) ¿Cuál es la temperatura T_1 del helio al comenzar el ascenso?
e) ¿Cuánto calor, Q_1 , ha sido necesario suministrar para que M_1 empiece a subir?

Si la resistencia es de $1000\ \Omega$ y el tiempo que tiene que estar conectada la batería para suministrar el calor Q_1 es 6 minutos ,

- f) ¿Cuál es el voltaje de la fuente?

Una vez que M_1 despegue, se produce la elevación del émbolo hasta una altura h de 2 m. Suponiendo que la elevación es muy lenta para poder despreciar la energía cinética del sistema,

- g) ¿Qué tipo de proceso termodinámico ha tenido lugar?
- h) ¿Cuál es la temperatura final T_2 de este proceso?
- i) ¿Cuánto calor adicional fue suministrado al gas?
- j) Si se considera como trabajo útil el necesario para levantar el émbolo M_1 una altura h , estime la eficiencia porcentual η del proceso.

Problema Teórico 3 - NIVEL 2
Hoja de respuestas

		Puntaje
a.	$M_{He} =$	
b.	$P_C =$	
c.	Proceso:	
d.	$T_1 =$	
e.	$Q_1 =$	
f.	$V =$	
g.	Proceso:	
h.	$T_2 =$	
i.	$Q_2 =$	
j.	$\eta =$	

Problema Teórico 1

Movimiento de un cuerpo sobre un plano inclinado.

- a) Supongamos que un cilindro de radio R y masa M se coloca sobre un plano inclinado a una altura H respecto del piso (ver figura 1). Este plano subtende un ángulo α respecto a la horizontal y no existe rozamiento entre el cilindro y el piso. Si inicialmente el cilindro está en reposo:
- Calcule la aceleración del centro de masa del cilindro cuando este se mueve sobre el plano inclinado.
 - Determine la velocidad del centro de masa del cilindro cuando llega a la superficie horizontal.

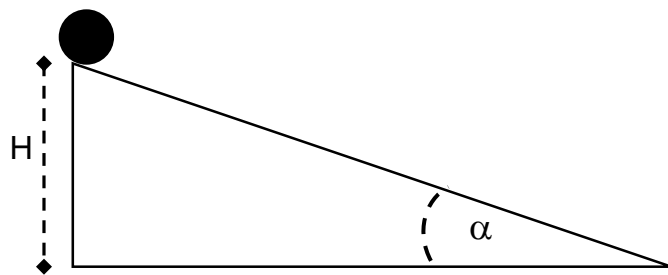


Figura 1

- b) Suponga ahora que existe rozamiento entre el cilindro y la superficie del plano inclinado, de manera que ahora éste rueda sin deslizar. Si inicialmente el cilindro está en reposo:
- Sabiendo que el momento de inercia de un cilindro de masa M y radio R , respecto a su centro de masa, es $I = M R^2/2$, determine, para este caso, la velocidad del centro de masa del cilindro al llegar a la superficie horizontal.
 - Calcule el valor de la fuerza de rozamiento existente entre el cilindro y la superficie del plano inclinado.
 - Calcule el trabajo realizado por la fuerza de rozamiento.

Datos: $M = 0,1$ kg; $R = L = 1$ cm; $H = 1$ m, $\alpha = 30^\circ$ y $g = 10$ m/s².

Problema Teórico 1 - NIVEL 1
Hoja de respuestas

		Puntaje
a.i)	$a_1 = g \operatorname{sen}(\alpha) = 5 \text{ m/s}^2$	1 pto.
a.ii)	$v_1 = 4,472 \text{ m/s}$	2 ptos.
b.i)	$v_2 = 3,651 \text{ m/s}$	2 ptos.
b.ii)	$F_r = -0,167 \text{ N}$	3 ptos.
b.iii)	$W_{Fr} = 0 \text{ N}$	2 ptos.

Solución:

a)

i- Calcule la aceleración del centro de masa del cilindro cuando este se mueve sobre el plano inclinado sin rozamiento

Haciendo el diagrama de cuerpo aislado del cuerpo las fuerzas que actúan sobre el cilindro son su peso y la normal del plano. La resultante es la componente del peso paralela al plano.

$$a_1 = g \operatorname{sen}(\alpha) = 5 \text{ m/s}^2$$

ii- Determine la velocidad del centro de masa del cilindro cuando llega a la superficie horizontal.

Esto lo podemos resolver por conservación de la energía.

$$M g H = \frac{1}{2} M v_1^2$$

Despejando obtenemos

$$v_1 = 4,472 \text{ m/s}$$

También lo podemos hacer por cinemática sabiendo que el cilindro parte del reposo.

$$d = \frac{H}{\operatorname{sen}(\alpha)} = \frac{1}{2} a_1 t_1^2$$

Obtenemos $t_1 = 0,894 \text{ s}$. Además $v(t_1) = a_1 t_1 = 4,472 \text{ m/s}$

b)

i- Determine ahora, para este caso, la velocidad del centro de masa del cilindro al llegar a la superficie horizontal.

Nuevamente lo podemos calcular utilizando el concepto de energía. Pero ahora debemos tener en cuenta que el movimiento es de rototraslación.

$$M g H = \frac{1}{2} M v_2^2 + \frac{1}{2} I \omega_2^2$$

Donde $I = \frac{1}{2} M R^2$, y como el movimiento es de roto-traslación se verifica que $v_2 = \omega_2 R$.

Con esto obtenemos $v_2 = 3,651 \text{ m/s}$

ii- Calcule el valor de la fuerza de rozamiento existente entre el cilindro y la superficie del plano inclinado.

La ecuación de movimiento para el centro de masa es:

$$M a_2 = M g \operatorname{sen}(\alpha) + F_r$$

donde F_r es la fuerza de rozamiento. Para despejar su valor hace falta conocer la aceleración a_2 . Para encontrar a_2 podemos plantear el siguiente par de ecuaciones, ya que conocemos la distancia recorrida por el centro de masa y su velocidad final:

$$\begin{aligned}v_2 &= a_2 t_2 \\d &= \frac{1}{2} a_2 t_2^2\end{aligned}$$

Donde a_2 es la aceleración del centro de masa y t_2 es el tiempo que demora en descender. Resolviendo este sistema obtenemos $a_2 = 3,333 \text{ m/s}^2$ y $t_2 = 1,095 \text{ s}$. Resolviendo esto obtenemos $F_r = -0,167 \text{ N}$ indicando que la fuerza de rozamiento es opuesta a la dirección de movimiento.

iii- Determine el trabajo realizado por la fuerza de rozamiento.

Como el cilindro rueda sin deslizar la fuerza de rozamiento que actúa es estática, por lo tanto, su trabajo es nulo. Esto ya lo habíamos tenido en cuenta al plantear la conservación de la energía para determinar la velocidad final del centro de masa.

Problema Teórico 1

Movimiento de un cuerpo sobre un plano inclinado.

- a) Supongamos que un cilindro de radio R y masa M se coloca sobre un plano inclinado a una altura H respecto del piso (ver figura 1). Este plano subtende un ángulo α respecto a la horizontal y no existe rozamiento entre el cilindro y el piso. Si inicialmente el cilindro está en reposo:
- Calcule la aceleración del centro de masa del cilindro cuando este se mueve sobre el plano inclinado.
 - Determine la velocidad del centro de masa del cilindro cuando llega a la superficie horizontal.

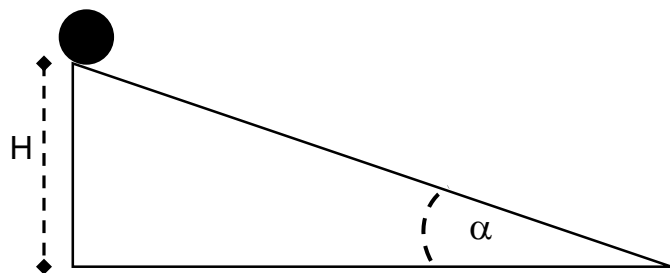


Figura 1

- b) Suponga ahora que existe rozamiento entre el cilindro y la superficie del plano inclinado, de manera que ahora éste rueda sin deslizar. Si inicialmente el cilindro está en reposo:
- Sabiendo que el momento de inercia de un cilindro de masa M y radio R , respecto a su centro de masa, es $I = M R^2/2$, determine, para este caso, la velocidad del centro de masa del cilindro al llegar a la superficie horizontal.
 - Calcule el valor de la fuerza de rozamiento existente entre el cilindro y la superficie del plano inclinado.
 - Calcule el trabajo realizado por la fuerza de rozamiento.
- c) Suponga ahora que colocamos sobre el plano inclinado un prisma de masa M , cuya base es un hexágono regular de lado L , el cual está apoyado sobre una de sus caras (ver figura 2). El rozamiento existente entre la superficie del plano inclinado y el prisma no permite que este deslice.
- Determine el máximo valor del ángulo β para el cual el prisma no rotará sobre uno de sus vértices.

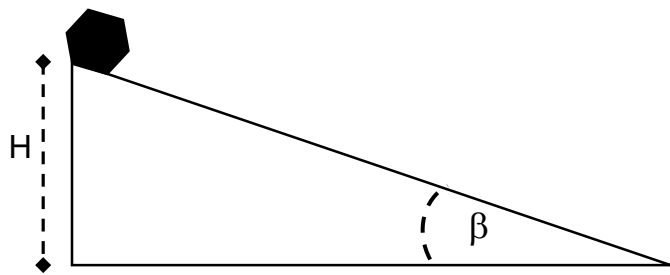


Figura 2

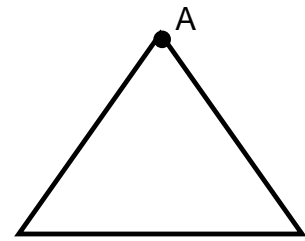


Figura 3

- ii) Sabiendo que el momento de inercia de un prisma cuya base es un triángulo equilátero de longitud de lado L , respecto a uno de sus vértices, es $I_A = 5 mL^2/12$ (donde $m = M/6$) calcule
- 1) El momento de inercia del prisma respecto a su centro de masa.
 - 2) El momento de inercia del prisma respecto a uno de sus vértices.
- iii) Suponiendo $\beta = \alpha/2$ y que inicialmente el prisma está apoyado en reposo sobre una de sus caras. ¿Qué condición debe cumplir la velocidad angular inicial que deberíamos darle al prisma, de manera tal que comience a rotar sobre el plano inclinado?

Datos: $M = 0,1 \text{ kg}$; $R = L = 1 \text{ cm}$; $H = 1 \text{ m}$, $\alpha = 30^\circ$ y $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Problema Teórico 1 - NIVEL 2**Hoja de respuestas**

		Puntaje
a.i)	$a_1 = g \operatorname{sen}(\alpha) = 5 \text{ m/s}^2$	0,5 pto.
a.ii)	$v_1 = 4,472 \text{ m/s}$	1 pto.
b.i)	$v_2 = 3,651 \text{ m/s}$	1 ptos.
b.ii)	$F_r = -0,167 \text{ N}$	2 ptos.
b.iii)	$W_{Fr} = 0 \text{ N}$	1 pto.
c.i)	$\beta = 30^\circ$	1 pto.
c.ii_1)	$I = \frac{5}{12} M L^2 = 4,167 \times 10^{-6} \text{ kg m}^2$	1 pto.
c.ii_2)	$I^* = \frac{17}{12} M L^2 = 1,4167 \times 10^{-5} \text{ kg m}^2$	1 pto.
c.iii)	$\omega_0 > \sqrt{\frac{2 M g L}{I^*} [1 - \cos(\beta)]} = 6,936 \text{ s}^{-1}$	1,5 pto.

Solución:

a)

i- Calcule la aceleración del centro de masa del cilindro cuando este se mueve sobre el plano inclinado sin rozamiento

Haciendo el diagrama de cuerpo aislado del cuerpo las fuerzas que actúan sobre el cilindro son su peso y la normal del plano. La resultante es la componente del peso paralela al plano.

$$a_1 = g \operatorname{sen}(\alpha) = 5 \text{ m/s}^2$$

ii- Determine la velocidad del centro de masa del cilindro cuando llega a la superficie horizontal.

Esto lo podemos resolver por conservación de la energía.

$$M g H = \frac{1}{2} M v_1^2$$

Despejando obtenemos

$$v_1 = 4,472 \text{ m/s}$$

También lo podemos hacer por cinemática sabiendo que el cilindro parte del reposo.

$$d = \frac{H}{\operatorname{sen}(\alpha)} = \frac{1}{2} a_1 t_1^2$$

Obtenemos $t_1 = 0,894 \text{ s}$. Además $v(t_1) = a_1 t_1 = 4,472 \text{ m/s}$

b)

i- Determine ahora, para este caso, la velocidad del centro de masa del cilindro al llegar a la superficie horizontal.

Nuevamente lo podemos calcular utilizando el concepto de energía. Pero ahora debemos tener en cuenta que el movimiento es de rototraslación.

$$M g H = \frac{1}{2} M v_2^2 + \frac{1}{2} I \omega_2^2$$

Donde $I = \frac{1}{2} M R^2$, y como el movimiento es de roto-traslación se verifica que $v_2 = \omega_2 R$.

Con esto obtenemos $v_2 = 3,651 \text{ m/s}$

ii- Calcule el valor de la fuerza de rozamiento existente entre el cilindro y la superficie del plano inclinado.

La ecuación de movimiento para el centro de masa es:

$$M a_2 = M g \operatorname{sen}(\alpha) + F_r$$

donde F_r es la fuerza de rozamiento. Para despejar su valor hace falta conocer la aceleración a_2 . Para encontrar a_2 podemos plantear el siguiente par de ecuaciones, ya que conocemos la distancia recorrida por el centro de masa y su velocidad final:

$$\begin{aligned} v_2 &= a_2 t_2 \\ d &= \frac{1}{2} a_2 t_2^2 \end{aligned}$$

Donde a_2 es la aceleración del centro de masa y t_2 es el tiempo que demora en descender. Resolviendo este sistema obtenemos $a_2 = 3,333 \text{ m/s}^2$ y $t_2 = 1,095 \text{ s}$. Resolviendo esto obtenemos $F_r = -0,167 \text{ N}$ indicando que la fuerza de rozamiento es opuesta a la dirección de movimiento.

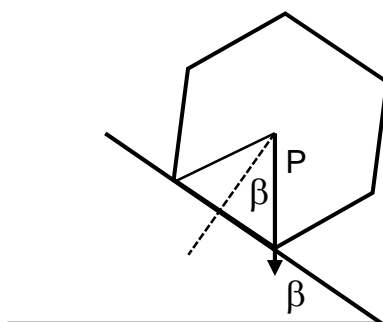
iii- Determine el trabajo realizado por la fuerza de rozamiento.

Como el cilindro rueda sin deslizar la fuerza de rozamiento que actúa es estática, por lo tanto, su trabajo es nulo. Esto ya lo habíamos tenido en cuenta al plantear la conservación de la energía para determinar la velocidad final del centro de masa.

c)

i- Determine el máximo valor del ángulo β para el cual el prisma, estando inicialmente en reposo, no rotará sobre uno de sus vértices.

El prisma rotará alrededor del punto más bajo de la cara que está en contacto con el piso. Para que rote es necesario que la suma de los momentos de las fuerzas aplicadas, respecto al eje de rotación, sea distinta de cero. Para ángulos menores al ángulo crítico la normal estará aplicada en algún lugar entre la mitad de la cara y el extremo del lado sobre el cuál rotará. La posición de la normal es tal que su momento compensa el momento de la fuerza peso. Además, la fuerza de rozamiento no ejerce momento respecto al eje de giro. En el momento que comienza a rotar la normal está aplicada sobre el eje de rotación y por lo tanto no ejerce momento y la línea de acción de la fuerza peso pasa por fuera de la base de apoyo.

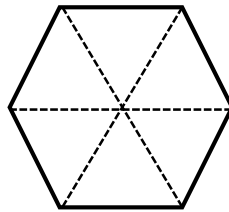


Y vemos que este ángulo es la mitad del ángulo que subtende la cara del hexágono, por lo tanto $\beta = 30^\circ$.

ii-

1) *El momento de inercia del prisma respecto a su centro de masa.*

Podemos pensar al hexágono como la unión de 6 triángulos equiláteros como vemos en la figura:



Entonces el momento de inercia del prisma hexagonal, respecto a un eje que pasa por su centro de masa será $I = 6 I_A$, y teniendo en cuenta que $m = M/6$, resulta

$$I = \frac{5}{12} M L^2 = 4,167 \times 10^{-6} \text{ kg m}^2$$

2) *El momento de inercia del prisma respecto a uno de sus vértices.*

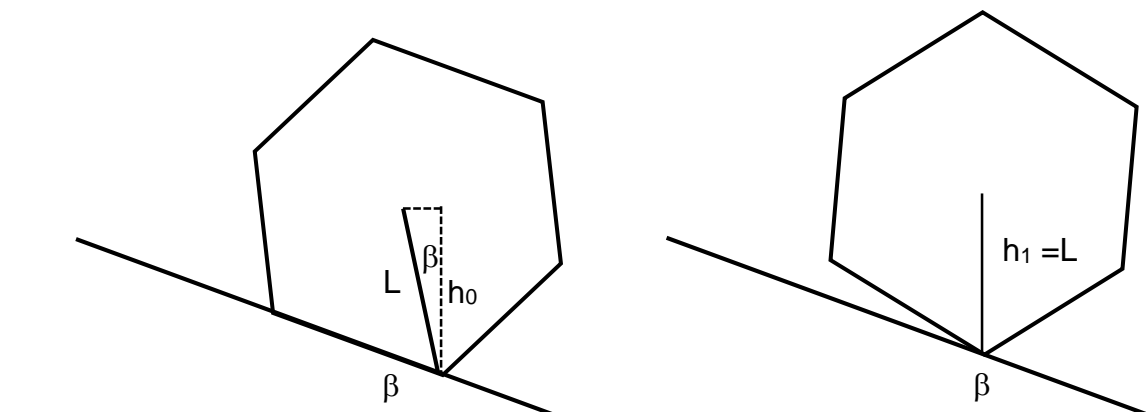
Para calcular el momento de inercia de la barra hexagonal respecto a un eje perpendicular a la base y que pasa por uno de sus vértices sólo tenemos que aplicar el teorema de Steiner.

$$I^* = \frac{5}{12} M L^2 + M L^2$$

$$I^* = \frac{17}{12} M L^2 = 1,4167 \times 10^{-5} \text{ kg m}^2$$

iii- *Suponiendo $\beta = \alpha/2$ y que inicialmente el prisma está apoyado sobre una de sus caras, determine qué condición debe verificar la velocidad angular inicial del prisma de manera que pueda rotar alrededor de uno de sus vértices.*

Para que rote la energía cinética inicial debe ser mayor al incremento de la energía potencial del centro de masa al rotar sobre el vértice.

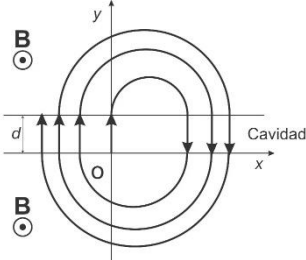


$$\frac{1}{2} I^* \omega_0^2 > M g \Delta h$$

$$\Delta h = h_1 - h_0 = L [1 - \cos(\beta)]$$

$$\omega_0 > \sqrt{\frac{2 M g L}{I^*} [1 - \cos(\beta)]} = 6,936 \text{ s}^{-1}$$

Problema Teórico 2 - Nivel 1 y 2
Soluciones y puntajes

		Puntaje
a.	$v_1 = 8,75504 \times 10^5 \text{ m/s}$	2 pts 1 pto
b.	$x_1 = 13,06 \text{ mm}$	2 pts 1 pto
c.		2 pts 1 pto
d.	$\tau = 46,84 \text{ ns}$	2 pts 1 pto
e.	$v_s = 14,755 \times 10^6 \text{ m s}^{-1} \Rightarrow \frac{v_s}{c} = 4,92\%$ $K_s = 1,14 \text{ MeV}$	2 pts 1 pto
f.	$N = 142 \text{ vueltas}$	1,5 pts
g.	$B' = 1,98 \text{ T}$	1 pto
h.	$K_s(2V_0) = 1,14 \text{ MeV}$ $N' = 71 \text{ vueltas}$	1 pto
i.	$a = 8,95 \text{ cm}$	1,5 pto

a) Por Conservación de energía

$$\frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2 = -q(V_f - V_i)$$

Para este caso, $V_f = 0$ y $V_i = V_0 = 4000 \text{ V}$ y definiendo

$$\alpha^2 = \frac{qV_0}{m}$$

$$v_f = \sqrt{v_i^2 + 2\alpha^2}$$

Inicialmente $v_i = v_0 = 0$

Luego,

$$v_1 = \sqrt{2}\alpha = 8,75504 \times 10^5 \text{ m/s}$$

Aplicando Newton

$$\vec{F}_E = q\vec{E} = ma\hat{j}$$

Dado que E es uniforme

$$E = \frac{V_0}{d}$$

Entonces,

$$a = \frac{qV_0}{md} = \frac{\alpha^2}{d}$$

$$v(t) = \frac{\alpha^2}{d}t$$

$$y(t) = \frac{\alpha^2}{2d}t^2$$

Sea t_1 tal que $y(t_1) = d \Rightarrow t_1 = \sqrt{2}\frac{d}{\alpha}$, luego

$$v_1 = v(t_1) = \sqrt{2}\alpha = 8,75504 \times 10^5 \text{ m/s}$$

b) En la región con campo magnético $\vec{B} = B\hat{k}$, la única fuerza actuando sobre el protón está dada por

$$\vec{F}_M = q\vec{v} \times \vec{B}$$

Entonces,

$$qv_1B = ma_c = m\frac{v_1^2}{R_1}$$

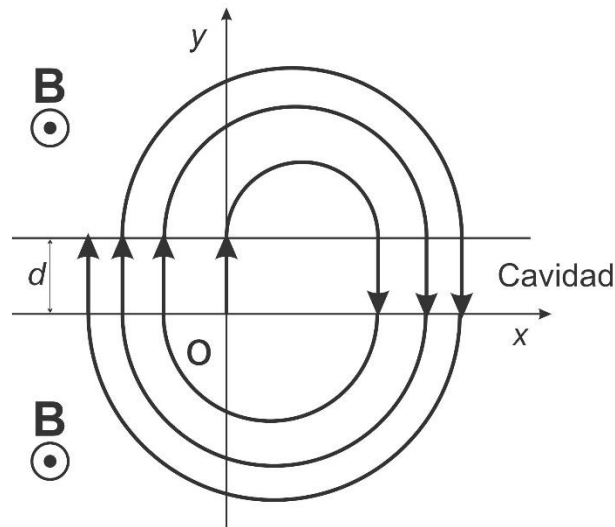
Donde R_1 es el radio de la trayectoria circular que realiza el protón.

$$\Rightarrow R_1 = \frac{mv_1}{qB} = 6,53 \times 10^{-3} \text{ m} = 6,53 \text{ mm}$$

Luego,

$$x_1 = 2R_1 = 13,06 \text{ mm}$$

c)



d) Para que el acelerador funcione de manera sincronizada, el voltaje se debe invertir cuando el protón llega a la cavidad de aceleración luego de pasar por el imán (el protón realiza media trayectoria circular). Sea $t_{1/2}$ el tiempo que tarda el protón en dar media vuelta, entonces

$$t_{1/2} = \frac{\tau}{2} = \frac{\pi R}{v_f} = \frac{m\pi}{qB} = 2,342 \times 10^{-8} \text{ s} = 23,42 \text{ ns}$$

Este tiempo es independiente de la velocidad, y como se supone que el tiempo empleado por el protón para recorrer la cavidad de aceleración es despreciable

$$\tau = 2 t_{1/2} = \frac{2m\pi}{qB} = 46,84 \text{ ns}$$

Se puede ver que, por cada paso por la cavidad de aceleración, el protón gana una energía cinética igual a qV_0 ,

$$k = 1 \quad \frac{1}{2}mv_1^2 = qV_0$$

$$k = 2 \quad \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = qV_0 \rightarrow \frac{1}{2}mv_2^2 = 2qV_0$$

$$k = 3 \quad \frac{1}{2}mv_3^2 - \frac{1}{2}mv_2^2 = qV_0 \rightarrow \frac{1}{2}mv_3^2 = 3qV_0$$

....

$$k \quad \frac{1}{2}mv_k^2 - \frac{1}{2}mv_{k-1}^2 = qV_0 \rightarrow \frac{1}{2}mv_k^2 = kqV_0$$

Luego, la velocidad luego de k paso por la cavidad de aceleración es

$$v_k = \sqrt{2k\alpha}$$

Entonces $k(= 1,2,3, \dots)$ es el número de media vueltas que da el protón.

Aplicando las ecuaciones de movimiento para el protón en la cavidad de aceleración, el tiempo para recorrer dicha cavidad está dado por

$$v_k = \frac{\alpha^2}{d}t_k + v_{k-1}$$

$$t_k = (v_k - v_{k-1})\frac{d}{\alpha^2} = \sqrt{2}(\sqrt{k} - \sqrt{k-1})\frac{d}{\alpha}$$

$$k = 1 \Rightarrow t_1 = \sqrt{2}\frac{d}{\alpha} = 1,62 \times 10^{-10} \text{ s} = 0,16 \text{ ns} \ll t_{1/2}$$

Se puede demostrar que $\lim_{k \rightarrow \infty} t_k = 0$. Luego, el tiempo para recorrer dicha cavidad es despreciables frente al tiempo que tarda el protón en dar media vuelta.

e) El protón sale del acelerador cuando el radio de giro de su trayectoria circular es igual al radio máximo $r_{max} = 11 \text{ cm}$. De la relación entre la velocidad y el radio de giro, se puede escribir que

$$v_s = r_{max} \frac{qB}{m} = 14,755 \times 10^6 \text{ m s}^{-1} \Rightarrow \frac{v_s}{c} = 4,92\%$$

$$K_s = \frac{1}{2} m v_s^2 = 1,82 \times 10^{-13} J = 1,14 \times 10^6 eV = 1,14 MeV$$

f) De la relación para la energía cinética del protón en función del número k de media vueltas,

$$K_s = kqV_0 \Rightarrow k = \frac{K_s}{qV_0} = 284 \text{ media vueltas}$$

De la relación para la velocidad del protón en función del número k de media vueltas,

$$v_s = \sqrt{2k\alpha} \Rightarrow k = \frac{1}{2} \left(\frac{v_s}{\alpha} \right)^2 = 284 \text{ media vueltas}$$

$$\Rightarrow N = 142 \text{ vueltas}$$

g) Como $K_s = kqV_0$ con $k = \frac{1}{2} \left(\frac{v_s}{\alpha} \right)^2$ y $v_s = r_{max} \frac{qB}{m}$, entonces

$$K_s = \frac{(qr_{max}B)^2}{2m}$$

Entonces, la energía cinética K_s depende de las propiedades del protón (m y q), de las dimensiones del acelerador (r_{max}) y de campo magnético aplicado (B). Si se quiere duplicar la energía de cinética de salida de los protones, solo se puede modificar la magnitud de B .

$$K'_s = 2K_s \Rightarrow B' = \sqrt{2}B = 1,98 T$$

h) K_s no depende de V_0 , luego duplicar su valor no modifica la energía cinética de salida de los protones.

$$K_s(2V_0) = 1,14 MeV$$

$$K_s(2V_0) = k'q(2V_0) \Rightarrow k' = \frac{K_s}{2qV_0} = 142 \text{ media vueltas}$$

$$\Rightarrow N' = 71 \text{ vueltas}$$

i) De la ecuación de De Broglie

$$\lambda_p = \frac{h}{p} = \frac{h}{m v_s} = 2,686 \times 10^{-14} m = 26,86 fm$$

La posición de mínimos de un patrón de difracción dado por una rendija de ancho b iluminada por una onda de longitud de onda λ están dados por,

$$\frac{\pi b}{\lambda} \operatorname{sen} \theta = \pm m \pi \text{ con } m = 1, 2, 3 \dots$$

$$\Rightarrow \operatorname{sen} \theta = \pm m \frac{\lambda}{b}$$

El ancho del máximo principal está dado por la posición de los primeros mínimos del patrón, es decir

$$m = \pm 1$$

$$\Rightarrow \operatorname{sen} \theta = \pm \frac{\lambda}{b}$$

Dado que $b \ll L \Rightarrow \operatorname{sen} \theta \sim \theta = \operatorname{tg} \theta = \frac{a/2}{L}$ donde a es el ancho del máximo principal del patrón de difracción, luego

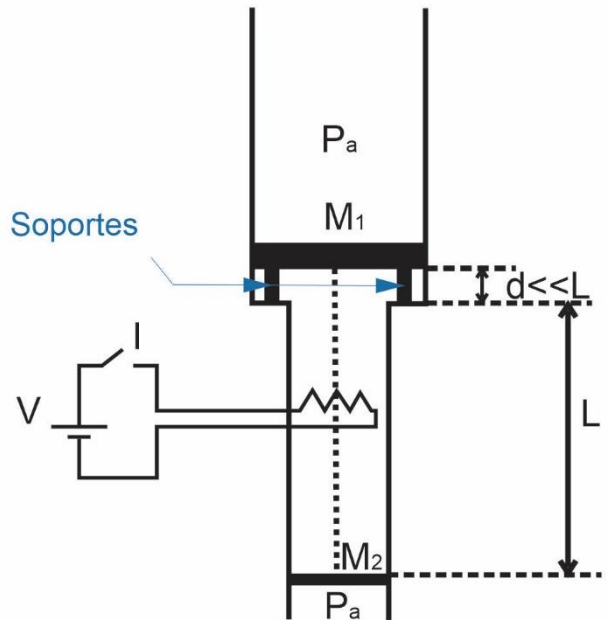
$$\frac{a/2}{L} = \frac{\lambda}{b} \Rightarrow a = \frac{2\lambda}{b} L = 8,95 \times 10^{-2} m = 8,95 \text{ cm}$$

Problema Teórico 3

Ascensor termodinámico

Con el objetivo de subir los repuestos desde el subsuelo, un negocio instala un elevador termodinámico como el mostrado en la figura.

El dispositivo consta de un tubo cuadrado vertical con secciones diferentes. La parte superior tiene un lado $l_1 = 0,5\text{ m}$ y la inferior un lado $l_2 = 0,4\text{ m}$. Dentro del tubo hay dos émbolos de masas $M_1 = 8\text{ kg}$ y $M_2 = 2\text{ kg}$ unidos por una cadena inextensible, de longitud $L = 3\text{ m}$ y su masa es $m_c = 2\text{ kg}$. Los émbolos deslizan sin fricción y todo el sistema está aislado térmicamente.



El émbolo superior está apoyado sobre dos soportes, de tamaño y altura d despreciables como se muestra en la figura.

Comprendido entre los émbolos hay gas helio monoatómico ($\rho = 0,178\text{ kg/m}^3$) a presión atmosférica ($P_a = 1,01 \times 10^5\text{ Pa}$) de tal manera que la base inferior de M_1 se apoya sobre la base del tubo cuadrado superior. Inicialmente la temperatura de todo el sistema es $T_a = 293\text{ K}$.

Nivel 1

- a) Determine la masa de helio encerrada entre los émbolos.

$$M_{He} = \rho_{He} l_2^2 L = 0,178 (0,4)^2 3\text{ Kg} = 0,085\text{ Kg}$$

Con el objeto de levantar los émbolos, al helio encerrado se le suministra lentamente calor mediante la resistencia eléctrica al cerrar el interruptor I .

- b) ¿Cuál es el valor de la presión crítica, p_c , a la cual los émbolos comenzarán su ascenso?

Como la masa de helio es despreciable frente a la suma de las masas de los émbolos y la cadena ($M_{He} \ll M_1 + M_2 + M_C = M_T$), la ecuación a resolver es:

$$P_1 + P_2 + P_C + P_{at}(A_1 - A_2) + P_G(A_2 - A_1) = M_T a$$

La presión crítica es la solución para la ecuación:

$$P_1 + P_2 + P_C + P_{at}(A_1 - A_2) + P_C(A_2 - A_1) = 0$$

$$M_T g + P_{at}(A_1 - A_2) + P_C(A_2 - A_1) = 0$$

Despejando P_C resulta:

$$P_C = \frac{M_T g}{(A_1 - A_2)} + P_{at}$$

$$\begin{aligned} A_1 &= l_1^2 = (0,5)^2 = 0,25 \text{ m}^2 & M_T &= 12 \text{ Kg} \\ A_2 &= l_2^2 = (0,4)^2 = 0,16 \text{ m}^2 & P_{at} &= 1,01 \times 10^5 \text{ Pa} \end{aligned}$$

$$P_C = \frac{12 (10)}{0,09} \text{ Pa} + 101000 \text{ Pa}$$

$$P_C = 102333,3 \text{ Pa}$$

Desde el estado inicial hasta que los émbolos comienzan a ascender:

c) ¿Qué tipo de proceso tiene lugar?

Se puede observar que hasta que el gas alcanza la presión crítica el proceso es a volumen constante es decir Isocoro.

d) ¿Cuál es la temperatura T_1 del helio al comenzar el ascenso?

Debemos plantear la ecuación de gases ideales al inicio y al momento de alcanzar la P_C . Sabemos que el volumen se mantiene constante, así como el número de moles N .

$$\left. \begin{array}{l} \text{Inicialmente:} \quad P_{at}V = NRT_o \\ \text{Finalmente:} \quad P_C V = NRT_1 \end{array} \right\} \text{ Dividiendo: } \frac{P_{at}}{P_C} = \frac{T_o}{T_1}$$

$$T_1 = \frac{P_C}{P_{at}} T_o = \frac{102333,3}{101000} 293 \text{ K}$$

$$T_1 = 296,9 \text{ K}$$

e) ¿Cuánto calor, Q_1 , ha sido necesario suministrar para que M_1 empiece a subir?

El calor suministrado al gas en el proceso isocoro viene dado por:

$$Q_1 = Nc_v(T_1 - T_o)$$

Por ser un gas monoatómico, $c_v = \frac{3}{2}R$, sólo nos falta conocer el número de moles, que lo podemos obtener de la ecuación de estado del gas al momento inicial:

$$N = \frac{P_{at}V_o}{RT_o}$$

Donde $V_o = A_2L = (0,16)3 = 0,48 \text{ m}^3$.

$$Q_1 = \frac{P_{at}V_o}{RT_o} \left(\frac{3}{2}R \right) (T_f - T_o) = \frac{1,01 \times 10^5 (0,48)}{293} \frac{3}{2} (3,9) \text{ J}$$

$$Q_1 = 967,9 \text{ J}$$

Si la resistencia es de 1000Ω y el tiempo que tiene que estar conectada la batería para suministrar el calor Q_1 es 6 minutos,

f) ¿Cuál es el voltaje de la fuente?

Sabemos que la potencia suministrada viene dada por:

$$P = IV = \frac{V^2}{R}$$

y que $Pt = Q_1$, entonces:

$$\frac{V^2}{R} t = Q_1 \rightarrow V = \sqrt{\frac{RQ_1}{t}} = 51,9 \text{ V}$$

Recordar que 6 min = 360 segundos

Nivel 2

Una vez que M_1 despegue, se produce la elevación del émbolo hasta una altura h de 2 m. Suponiendo que la elevación es muy lenta para poder despreciar la energía cinética del sistema:

g) ¿Qué tipo de proceso termodinámico ha tenido lugar?

Cuando comienza a levantarse el émbolo M_1 , el volumen empieza a cambiar mientras que la presión se mantiene constante e igual a P_c . Por lo tanto, el proceso es isobaro.

h) ¿Cuál es la temperatura final T_2 de este proceso?

Planteamos nuevamente la ecuación de estado del gas para el estado inicial ($P_i = P_c$, $V_i = 0,48 \text{ m}^3$ y $T_i = 296,9 \text{ K}$) y para el estado final ($P_f = P_c$, $V_f = A_2 (1) + A_1 (2) = 0,66 \text{ m}^3$ y $T_2 = ?$). Haciendo el cociente entre ellas encontramos que:

$$T_2 = \frac{V_f}{V_i} T_i = 408,2 \text{ K}$$

i) ¿Cuánto calor adicional fue suministrado al gas?

En este caso (proceso isobaro):

$$Q_2 = N c_p (T_2 - T_1) = N \frac{5}{2} R (111,3)$$

Con
$$c_p = c_v + R = \frac{3}{2} R + R = \frac{5}{2} R$$

A N lo obtenemos del punto e)

$$Q_2 = \frac{P_{at} V_o}{R T_o} \left(\frac{5}{2} R \right) (111,3) = \frac{1,01 \times 10^5 (0,48)}{293} \frac{5}{2} (111,3) \text{ J}$$

$$Q_2 = 46039,5 \text{ J}$$

j) Si se considera como trabajo útil el necesario para levantar el émbolo M_1 una altura h , estime la eficiencia porcentual del proceso

$$W_{util} = M_1gh = 8(10)2 = 190 J$$

$$\eta = \frac{W_{util}}{Q_1 + Q_2} = \frac{190 J}{47007.4 J} = 0,004$$

O sea, un rendimiento del 0,4 %

Hoja de respuesta (Nivel 1)

		Puntaje
a.	$M_{He} = 0,085 Kg$	1 punto
b.	$P_C = 102333,3 Pa$	2,5puntos
c.	Proceso: Isocoro	1 punto
d.	$T_1 = 296,9 K$	2 punto
e.	$Q_1 = 967,9 J$	2 puntos
f.	$V = 51,9 V$	1,5puntos

Hoja de respuesta (Nivel 2)

		Puntaje
a.	$M_{He} = 0,085 \text{ Kg}$	0,5 punto
b.	$P_C = 102333,3 \text{ Pa}$	2 puntos
c.	Proceso: Isocoro	0,5 punto
d.	$T_1 = 296,9 \text{ K}$	1 punto
e.	$Q_1 = 967,9 \text{ J}$	1,5puntos
f.	$V = 51,9 \text{ V}$	1 puntos
g.	Proceso: Isobaro	0,5puntos
h.	$T_2 = 408,2 \text{ K}$	0,5 punto
i.	$Q_2 = 46039,5 \text{ J}$	1,5 punto
j.	$\eta = 0,4 \%$	1 punto