



Olimpiada Brasileña de Física Online

2ª Fase - 26 y 27 de octubre de 2025

Nombre: _____

Grado: _____

César Lattes
Nivel Abierto
Español

Instrucciones del Examen

- I. Este examen consta de **3** preguntas.
- II. La duración máxima de este examen es de **cuatro horas**. Además del tiempo de examen, se concederán **5 minutos** para completar la hoja de respuestas en línea.
- III. El examen debe realizarse individualmente y no está permitido discutir las soluciones de las preguntas durante el período del examen **26 y 27 de octubre de 2025**.
- IV. Si es necesario, y a menos que se indique lo contrario, use: aceleración gravitacional en la superficie de la Tierra $g = 10 \text{ m/s}^2$; calor específico del agua líquida $c_a = 1 \text{ cal/(g}^\circ\text{C)}$; calor latente de fusión del hielo $L = 80 \text{ cal/g}$; $1 \text{ cal} = 4,2 \text{ J}$; densidad del agua líquida $\rho = 1,0 \text{ g/cm}^3$; constante de Wien $b = 2,898 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$; constante de Planck $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$; velocidad de la luz $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$; energía del hidrógeno en estado fundamental $E_n = -\frac{13,6}{n^2} \text{ eV}$; $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$.

Apoyo:





Curiosidades:

Cesare Mansueto Giulio Lattes, más conocido como César Lattes (Curitiba, 11 de julio de 1924 — Campinas, 8 de marzo de 2005), fue un físico brasileño, codescubridor del mesón- π (mesón pi o pión), descubrimiento que llevó a la concesión del Premio Nobel de Física de 1950 a Cecil Frank Powell, líder de la investigación. Lattes es uno de los físicos más ilustres de Brasil y su trabajo fue fundamental para el desarrollo de la física atómica en el país. Fue también un gran líder en la comunidad científica brasileña y uno de los principales responsables de la creación del Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).



Pregunta 1: Escudo Térmico - 10 puntos¹

Una futura misión a Marte planea utilizar un nuevo motor que requiere que su combustible se mantenga a una temperatura extremadamente baja, por debajo de su punto crítico de ebullición, T_c . Para evitar que el combustible se evapore, el tanque esférico que lo almacena está rodeado por un sistema de aislamiento térmico compuesto por N escudos esféricos, finos y concéntricos, separados por vacío. Para simplificar el análisis, considere que las áreas de todos los escudos y del tanque son aproximadamente iguales a A . El escudo más externo está expuesto a un flujo de energía solar constante F_0 .

El propio tanque genera una pequeña cantidad de calor, P_{int} , debido a equipos de monitoreo. La carga térmica total (calor del exterior más el generado internamente) es eliminada por un criorefrigerador activo, que tiene una capacidad máxima de refrigeración de P_{max} . El diseño del aislamiento debe ser lo suficientemente eficiente para que la carga térmica total no exceda esta capacidad. Para todo el análisis, considere el sistema en equilibrio térmico, la temperatura del espacio profundo como nula, y la constante de Stefan-Boltzmann como σ .

Parte A: El Modelo Ideal (Cuerpos Negros) - 4 puntos

En esta parte, como primera aproximación, modelaremos el sistema como si todas las superficies (el tanque y los N escudos) fueran **cuerpos negros perfectos**, con emisividad y absorptividad iguales a 1.

- 0.6 puntos** En equilibrio, un flujo de calor neto constante, Q_{net} , atraviesa cada capa de vacío. Escriba una expresión para este flujo entre el escudo i (a temperatura T_i) y el escudo adyacente $i + 1$ (a temperatura T_{i+1}).
- 1.4 puntos** Muestre que la relación entre la temperatura del primer escudo (T_1) y la del tanque (T_{tanque}) puede escribirse como una función de N y Q_{net} .
- 2 puntos** Utilice el balance de energía en el primer escudo (la condición de contorno externa) y la restricción de carga térmica en el tanque (la condición de contorno interna) para encontrar una expresión para el número mínimo de escudos, N_{ideal} , necesario para mantener el tanque en $T_{\text{tanque}} \leq T_c$.

Parte B: El Modelo Realista (Superficies Grises) - 6 puntos

En realidad, los materiales usados para aislamiento son altamente reflectantes. Considere ahora que todas las superficies tienen una emisividad constante ϵ mucho menor que 1.

- 3 puntos** Primero, derive una expresión para el flujo neto de energía por unidad de tiempo entre dos grandes superficies paralelas con la misma área A y emisividad ϵ , mantenidas a temperaturas T_1 y T_2 .

¹Por Lucas Praça



- (e) **2 puntos** Utilizando el resultado del ítem anterior, encuentre la nueva expresión para el número mínimo de escudos, N_{real} , en función de ϵ y las demás variables del problema.
- (f) **1 punto** Compare sus expresiones para N_{real} y N_{ideal} . Para un valor de $\epsilon \ll 1$, ¿cuál de los dos números de escudos es mayor? Justifique físicamente por qué el uso de materiales de baja emisividad es un factor tan crucial para el diseño de aislamiento térmico en misiones espaciales.

Pregunta 2: Óptica del Café - 10 puntos²

Cuando una taza de café es iluminada por una lámpara o la luz del Sol, es común notar formas curvas brillantes en la superficie del líquido o en el fondo de la taza. Estas formas, conocidas como **cáusticas**, resultan de la reflexión o refracción de los rayos de luz, que se concentran en determinadas regiones del espacio. Se trata de un ejemplo cotidiano impresionante de cómo la geometría de una superficie curva puede concentrar la luz, formando patrones al mismo tiempo estéticamente llamativos y físicamente relevantes. El estudio de las cáusticas involucra conceptos de la óptica geométrica, como la ley de la reflexión, y está relacionado con problemas clásicos que también aparecen en sistemas ópticos y astronómicos avanzados.

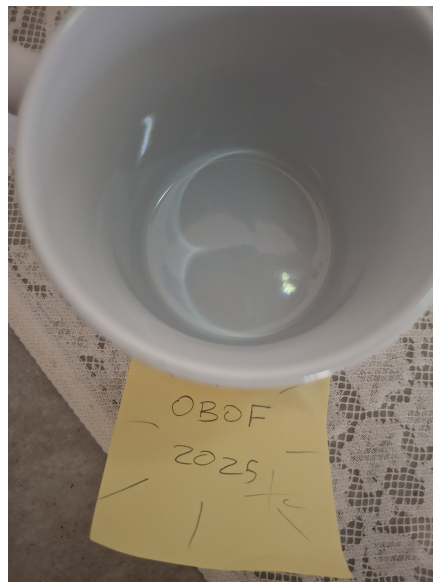


Figura 1: Patrón de cáustica en una taza de café.

- (A) **6 puntos** Sea C un pequeño espejo convexo de distancia focal f , y sea Γ un círculo de diámetro d_1 tangente a C . Suponga que P es una fuente de luz puntual localizada en Γ . Muestre que el lugar geométrico de todas las imágenes de P es otro círculo Ω , tangente a C , con diámetro d_2 que satisface

$$\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} = \frac{1}{f}.$$

- (B) **4 puntos** Sea P una fuente de luz puntual fija y sea Γ un espejo circular de radio R . Muestre que
- si $P \in \Gamma$, la cáustica es un **cardioide**;
 - si P está en el infinito, la cáustica es la mitad de un **nefroide**.

En ambos casos, estas curvas pueden generarse como el camino trazado por un punto en la circunferencia de un círculo que rueda sin deslizar sobre otro círculo fijo de radio diferente. Determine los radios de estos

²Por Paulo Vinícius



círculos, esboce las curvas y explique por qué esta construcción de círculos rodantes no se aplica en el caso general.

Pregunta 3: Ondas en una Cuerda - 10 puntos³

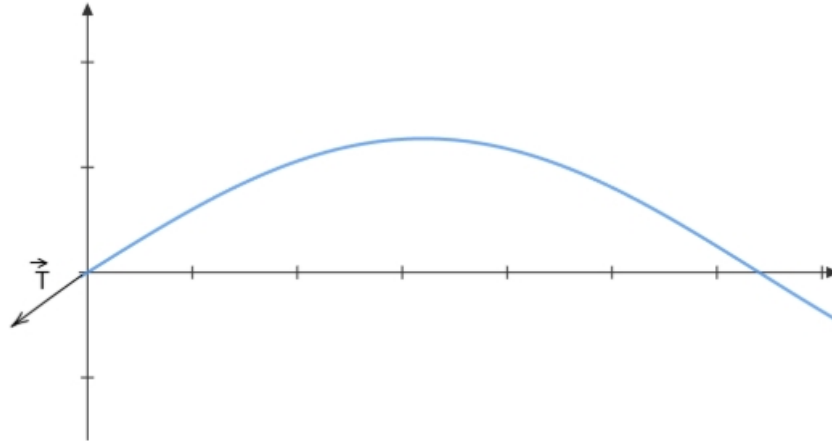


Figura 2: Configuración inicial de la cuerda bajo tensión \vec{T} .

En la figura de arriba, tenemos una cuerda con densidad lineal de masa ρ que se pone a oscilar mediante una tensión T . Esta fuerza propagará energía a la cuerda, que presentará características interesantes. Nuestra intención es partir de un caso simple y llegar a una mejor comprensión de las ondas en general.

Parte A: La Ecuación de Onda - 3 puntos

- (a) **2 puntos** Plantee la ecuación diferencial de movimiento para el sistema.
- (b) **1 punto** Separe la ecuación en partes espacial y temporal [Pista: Una función $f(x;t)$ puede escribirse como: $\xi(x)\varphi(t)$].

Parte B: Energía y Potencia - 4 puntos

Utilizaremos como solución:

$$y(x;t) = \text{Re}[Ae^{i(kx-\omega t)}] = A \cos\left(kx - \omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$
$$y(0;0) = 0 \quad v(0;0) = A\omega$$

- (c) **2 puntos** Calcule la potencia media de la energía suministrada a la cuerda.
- (d) **2 puntos** Exprese las fórmulas (en forma integral) para la energía cinética y potencial total del sistema.

Parte C: Principio de Mínima Acción - 3 puntos

Hay una cantidad en física que es útil desde la relatividad general hasta la mecánica cuántica, y su nombre es acción, que se define como:

$$S = \int L(y; \dot{y}; t) dt; \quad L = T - V$$

³Por Yvens Amaral



Olimpiada Brasileña de Física Online



Sin embargo, cuando tenemos sistemas que, a diferencia de las partículas, están dispersos en el espacio como cuerdas, debemos usar \mathcal{L} que se define como la densidad de L . Tenemos por tanto nuestra nueva expresión:

$$S = \int \mathcal{L}(y; \frac{\partial y}{\partial t}; \frac{\partial y}{\partial x}; x; t) dx dt$$

Es de conocimiento general que la naturaleza evoluciona buscando las situaciones más estables, que son aquellas de mínima acción. Minimicemos entonces la acción. Dada una deformación $y' = y + \epsilon\alpha(x)\beta(t)$, con $\alpha(x_1) = \alpha(x_2) = \beta(t_1) = \beta(t_2) = 0$, y minimizando la acción por integración por partes, llegamos a la siguiente ecuación (Ecuación de Euler-Lagrange):

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial y} - \frac{\partial(\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial y})}{\partial t} - \frac{\partial(\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial y'})}{\partial x} = 0$$

- (e) **3 puntos** Utilizando los resultados del ítem (d) y la fórmula anterior, plantee la ecuación de movimiento para el sistema y compárela con la del ítem (a).