

## Una aproximación al proceso de formación de la molécula de Ozono $O_3$

El ozono, una molécula relativamente inestable compuesta de tres átomos de oxígeno, es esencial para la vida en la Tierra a pesar de representar solo una fracción muy pequeña de la atmósfera. Su impacto en la vida depende de su ubicación: en la estratosfera (entre 10 y 40 km sobre la superficie), actúa como una barrera protectora contra la radiación ultravioleta dañina del sol. El ozono estratosférico se forma cuando la radiación ultravioleta de alta energía descompone moléculas de oxígeno en átomos individuales, los cuales se combinan nuevamente con oxígeno molecular para formar ozono. Este proceso asegura que la radiación ultravioleta de alta energía sea absorbida en la estratosfera, protegiendo así la superficie terrestre.

El ozono es valioso porque absorbe energía ultravioleta nociva para la vida en la Tierra. Al absorber incluso radiación ultravioleta de baja energía, una molécula de ozono se divide en una molécula de oxígeno y un átomo de oxígeno libre. Generalmente, este átomo de oxígeno libre se recombina rápidamente con una molécula de oxígeno para formar otra molécula de ozono, manteniendo así el “ciclo de ozono-oxígeno”. Este ciclo transforma la peligrosa radiación ultravioleta en calor, contribuyendo a la protección continua de la vida en la superficie terrestre.

Para simplificar el análisis, desarrollaremos el problema en el marco de referencia donde las moléculas de  $O_2$  se encuentran en reposo. Además, consideraremos a los átomos y moléculas como partículas puntuales, y despreciaremos todo tipo de interacciones a distancia.

- (2.0pts) Considere una molécula de  $O_2$  que absorbe cierta energía  $E$  proveniente del Sol. Una porción  $\Delta E$  de esta energía es utilizada para romper el doble enlace  $O = O$ . Obtenga una expresión para la rapidez de las partículas emitidas, en función de estos parámetros y la masa  $m$  de los átomos de  $O$ .
- (2.0pts) Luego uno de estos átomos de  $O$  colisiona con otra molécula de  $O_2$ , formando la molécula de  $O_3$ . ¿Cuál es la rapidez de la nueva molécula? Expresé su resultado en función de los parámetros del inciso a).
- (2.0pts) Encuentre la razón  $r$  de la cantidad de energía pérdida en la colisión de los dos átomos liberados del  $O_2$  en la formación de las moléculas de  $O_3$ , con respecto a la energía inicial  $E$ .
- (3.0pts) Luego esta molécula de  $O_3$ , que aún conserva mucha energía, colisiona con moléculas circundantes de  $O_2$  u otros gases diatómicos como  $N_2$  (que también se en-

cuentran en reposo en nuestro marco de referencia), transfiriendo el resto de energía por medio de estas colisiones. Llame  $M$  a la masa de cada átomo de estas moléculas, encuentre la rapidez resultante de las moléculas de  $O_3$  y el otro gas, luego de una colisión frontal unidimensional, considere que es elástica.

- e) (1.0pts) Si para formar la molécula de  $O_3$  se necesitan  $104 \text{ kJ/mol}$ , y se requiere al menos  $495 \text{ kJ/mol}$  para separar la molécula de oxígeno. Estime la energía  $E_{\min}$  que permitiría la formación de  $O_3$  y compárela con los valores de energía mínima de los rayos UV ( $4.97 \times 10^{-19} \text{ J}$ ). Tenga en cuenta el número de Avogadro:  $N_A = 6.022 \times 10^{23} \text{ moléculas/mol}$ .

## Surf en El Salvador

El Salvador es reconocido internacionalmente por las condiciones óptimas de sus costas para la práctica del surf, la cual es favorecida por las características geográficas de la región costera del país. En este problema, ayudaremos a un físico a aprender a surfear.



Figura 1: Surf en El Salvador. Créditos: Archivo Diario El Salvador

### Ola artificial

Para entrenar, algunos surfistas hacen sus prácticas en sitios donde se crean olas artificiales, las cuales pueden ser formadas por diferentes métodos, uno de los cuales es el salto hidráulico. Considere un flujo laminar supercrítico que sale de una ranura horizontal de altura  $h_1$  y ancho  $L$  a una velocidad  $v_0$ , el cual, tras recorrida una distancia, se convierte en un flujo laminar subcrítico, provocando que su altura incremente y su velocidad, por ende, disminuya. El flujo supercrítico es el flujo cuya velocidad es mayor a la velocidad de las ondas superficiales en el medio, mientras que el subcrítico es lo contrario. Entre ambas secciones existe una región crítica, la cual ignoraremos por ahora, pero **NO** ignoraremos el hecho de que esta región **disipa energía** por turbulencias. Considere que, tras hacer el salto hidráulico, la altura del caudal incrementa hasta  $h_2$ .

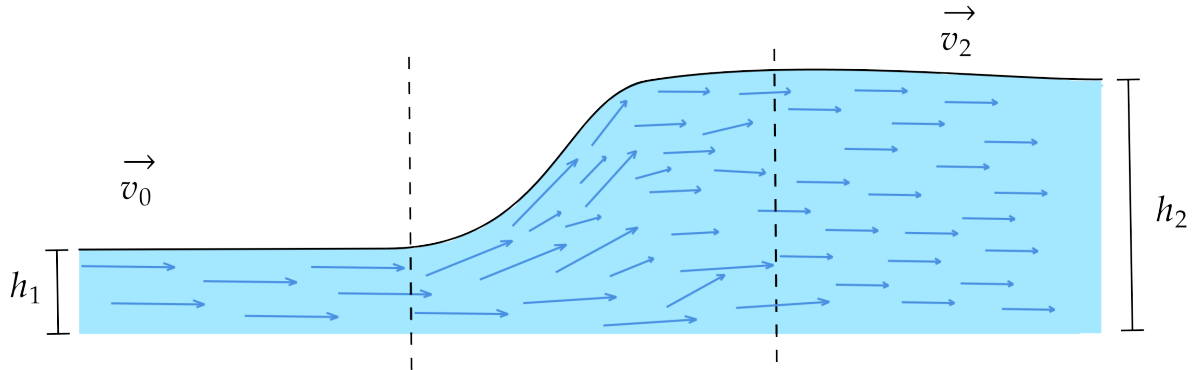


Figura 2: Vista transversal del salto hidráulico.  $L$  es medido de manera perpendicular a la página y es constante en todo el trayecto.

- (1.0 pts) Encuentre la velocidad  $v_2$  del agua después del salto hidráulico.
- (1.5 pts) Encuentre la altura  $h_2$  en términos de  $h_1$ , y el número de Froude, el cual es usado para cuantificar la criticidad de un fluido y se define como

$$Fr = \frac{v_0}{\sqrt{gh_1}}$$

Considere que para flujos supercríticos se cumple que  $Fr > 1$  y para subcríticos  $Fr < 1$ , y puede suponer que la siguiente relación es correcta:

$$\frac{1}{2}\rho gh^2 + \rho v^2 h = cte \quad (1)$$

La cual es conocida como conservación del flujo de momento.

- (2.5 pts) Exprese la pérdida de energía por unidad de peso de fluido después del salto en términos únicamente de las dos alturas. Considere que la diferencia de presión es despreciable.

## Surfeando la ola

Ahora, imagine que usted compra una tabla de surf de densidad  $\rho_S$ , largo  $l$ , ancho  $a$ , y grosor  $b$  (puede asumir que es una tabla rectangular). Usted, para empezar a surfear, se coloca sobre la parte transitoria (de velocidad crítica que puede asumir constante  $v_{crit}$ ) de la ola artificial y comienza a ganar equilibrio haciendo pequeños pero ágiles movimientos. Su centro de masas se encuentra sobre una altura  $h_{cm}$  medida desde la superficie de

la tabla y sobre la normal ubicada en el centro de masas de la tabla. La tabla se encuentra sumergida a un ángulo  $\varphi$  constante como se muestra en la figura. La densidad del agua es  $\rho_A$  y la masa del surfista es  $m_p$ .

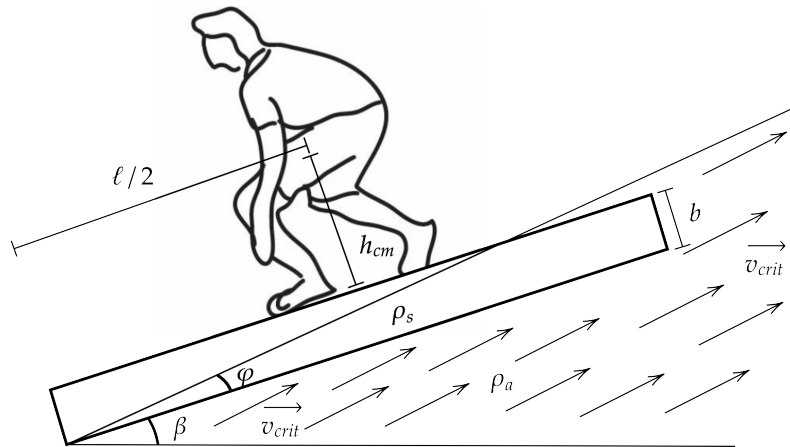


Figura 3: Vista transversal de la montura de ola

El centro de masas de un triángulo rectángulo se encuentra a  $1/3$  de la longitud de la altura y a  $1/3$  de longitud de la base medido desde el vértice recto.

- d) (1.5 pts) Encuentre la fuerza ejercida por el movimiento de las partículas de agua, considerando que toda su energía cinética es convertida en trabajo.
- e) (3.5 pts) Encuentre el torque producido por la fuerza de empuje  $E$  respecto al centro de masas de todo el sistema.

## La física del Tenis de Mesa

El tenis de mesa nació en el año 1870 en Inglaterra, intentando adaptar el tenis normal a espacios más pequeños, para jugar se utilizan 3 cosas fundamentales:

- Una pelota de tenis de mesa,
- una raqueta hecha de madera y forrada con gomas,
- y obviamente, una mesa de tenis de mesa



Figura  
1a

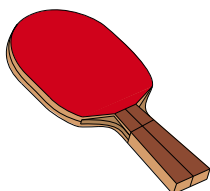


Figura 1b

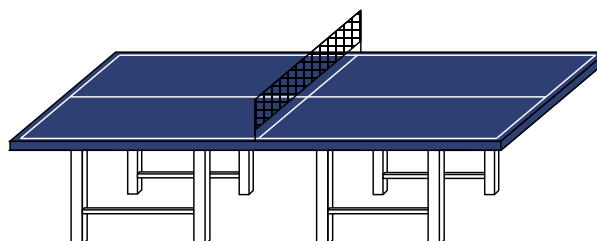


Figura 1c

En este problema analizaremos la física detrás de este deporte tan complejo que contiene tiros y giros inesperados. Durante todo el problema, asuma que la pelota tiene una masa  $m$ , radio  $r$  y momento angular  $I = \frac{2}{3}mr^2$ , y la raqueta tiene una masa  $M \gg m$  y su coeficiente de fricción cinético es  $\mu$ .

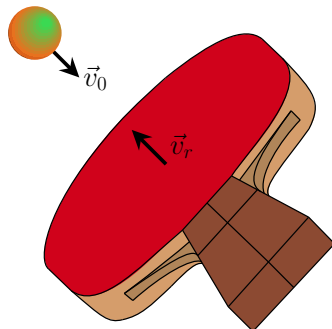
### Parte A. Golpe Simple. (2.0 pts)

La raqueta de tenis de mesa no es una superficie ideal. Por lo tanto, si la pelota llega con una componente de velocidad perpendicular  $v_{0,\perp}$  a la raqueta, esta saldrá con una componente  $v_{f,\perp}$ , la cual es menor que la inicial. Esta reducción de la velocidad se caracteriza por el coeficiente de restitución:

$$\varepsilon_r = \frac{|v_{f,\perp}|}{|v_{0,\perp}|} \quad (1)$$

Esta definición es válida en el marco de referencia de la raqueta.

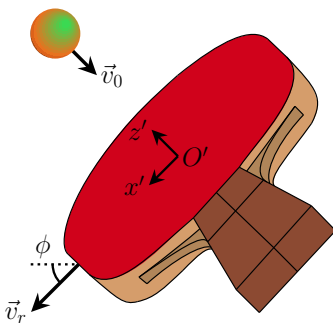
El movimiento más simple del tenis de mesa es un golpe directo a la pelota, donde la pelota se acerca a una velocidad  $\vec{v}_0$  hacia la raqueta y la raqueta se mueve a una velocidad  $\vec{v}_r$  hacia la pelota como se puede ver en la figura:



- A1) (1.5pts) Encuentre la rapidez de la pelota de tenis de mesa después del choque con la raqueta,  $v_f$ , en términos de  $v_r, v_0$  y  $\varepsilon_r$ . Tenga en cuenta que la pelota no tiene rotación alguna.
- A2) (0.5pts) ¿Cuál debe de ser la rapidez de la raqueta,  $v_{f,critico}$  para que la pelota se detenga completamente luego del choque? Escriba su respuesta en términos de  $v_0$  y  $\varepsilon_r$ .

### Parte B. Golpe Estilo Corte. (4.0pts)

En un juego de la vida real, golpear a la pelota con un golpe “directo” tal vez no sea la mejor idea para ganar puntos. Un golpe más usual es el golpe estilo “corte”, en el cual la raqueta se mueve perpendicularmente con respecto a la pelota justo antes de impactar (véase la figura).



Al golpear a la pelota de esta manera, esta obtendrá una rotación debido a la fuerza de fricción generada en el contacto con la raqueta.

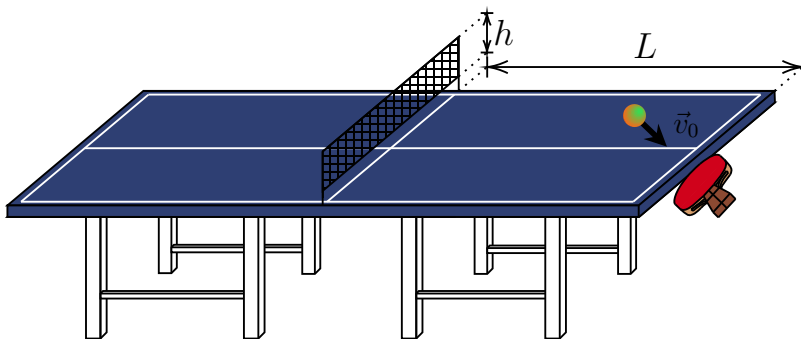
- B1) (1.5pts) Encuentre la velocidad final con la que la pelota saldrá de la raqueta,  $\vec{v}_f$ , en el marco de coordenadas  $O'$  que se encuentra fijo en la raqueta. Tenga en cuenta que el tiempo de impacto es mucho menor que el tiempo que le toma a la pelota para comenzar a rodar sin deslizarse. Expresé su respuesta en términos de  $\mu, v_0$  y  $\varepsilon_r$ .



- B2) (1.0pts) ¿A qué ángulo  $\theta$  con respecto a la horizontal sale la pelota? Escriba su respuesta en términos de  $\phi, \mu$  y  $\varepsilon_r$ . Tome en cuenta que el ángulo al que se mueve la raqueta con respecto a la horizontal es  $-\phi$  (Por convención, ángulos en sentido antihorario son positivos).
- B3) (0.5pts) El ángulo crítico  $\phi_c$  nos dice qué tanto podemos inclinar la raqueta sin que la pelota se dirija hacia abajo ( $\theta < 0^\circ$ ) después del choque. ¿Cuál debe de ser el valor del coeficiente de restitución en función del coeficiente de fricción cinético  $\mu$  si queremos que el valor del ángulo crítico sea  $\phi_c = 60^\circ$ ?
- B4) (1.0pts) ¿Cuál es la rapidez angular,  $\omega$ , que obtiene la pelota? Expresar su resultado en términos de  $r, \mu, v_0$  y  $\varepsilon_r$ .

### Parte C. Comparando tiros. (4.0pts)

Tenga en cuenta que usted está jugando tenis de mesa, realiza un saque y su rival retorna la pelota a su lado, y usted decide contactar la pelota justamente al borde de la mesa cuando la velocidad de esta se encuentra  $45^\circ$  con respecto a la horizontal como se ve en la imagen.



- C1) (1.5pts) Si se sabe que  $\varepsilon_r = 2/3$ ,  $\mu = 0.1$ . Encuentre a que distancia llegará la pelota en términos de  $v_0$  si:
- Se le da a la pelota un golpe simple (Golpe de la parte A).
  - Se le da a la pelota un golpe de corte (Golpe de la parte B).

Tenga en cuenta que la velocidad de la pelota antes de hacer contacto con ella es  $v_0$  y que la velocidad de la raqueta es  $v_r = 2v_0$ , también tome que la aceleración gravitatoria es  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .

- C2) (2.5pts) Determina el intervalo de valores de  $v_0$  de tal manera que la pelota llegue a la mesa del oponente, para cada tipo de golpe. Tenga en cuenta que  $L = 1.37 \text{ m}$  y  $h = 15.25 \text{ cm}$ .