

8. Mecánica a escala celular y molecular

Parte I: Movimientos en medios viscosos

1) Un objeto que se mueve en un fluido experimenta una fuerza de arrastre (o fuerza viscosa) que se opone a su movimiento y es proporcional a la velocidad relativa entre el objeto y el fluido:

$$F_{\text{arrastre}} = \gamma \cdot v$$

El coeficiente de proporcionalidad (γ) es una función del tamaño y de la forma del objeto así como de la viscosidad del medio. Para un objeto esférico, el coeficiente de arrastre es $\gamma = 6\pi \cdot \eta \cdot r$ (Ley de Stokes), donde η es la viscosidad del fluido y r el radio del objeto.

Considere un objeto que se mueve en un medio viscoso sujeto a una fuerza constante F . Suponga que la velocidad inicial es $v(0) = 0$.

- a) Plantee la ecuación de Newton y muestre que la velocidad en función del tiempo es:

$$v(t) = \frac{F}{\gamma} \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right]$$

Grafique.

- b) Encuentre la velocidad límite alcanzada. De una estimación del tiempo que tarda en alcanzarse esa velocidad. ¿De qué parámetros depende?

2) Calcule la fuerza que deben hacer los motores moleculares que mueven los flagelos de una bacteria *E. coli* para que esta se mueva en un medio acuoso ($\eta = 10^{-2} \text{ gr cm}^{-1} \text{ s}^{-1}$) a una velocidad constante de $25 \mu\text{m}/\text{seg}$. Aproxime la bacteria es una esfera de $2 \mu\text{m}$ de radio.

3) En mitosis, las moléculas de kinesina trasladan los cromosomas por una distancia de unos 5 micrones durante unos 30 minutos. Calcule su velocidad media. ¿Qué fuerza se requiere? Asuma que el cromosoma tiene el mismo coeficiente de arrastre que la bacteria *E. coli* del problema 2.

4) Suponga que una fuerza de 1 pN se aplica a una proteína de 100 kDa. En un medio sin viscosidad, ¿a qué velocidad se moverá después de 1 ns? ¿Qué distancia avanzará en ese tiempo? Si la proteína está en un medio viscoso como el citoplasma cuya viscosidad es 1000 veces mayor que la del agua ($\eta = 10 \text{ gr cm}^{-1} \text{ s}^{-1}$), ¿cuál es su velocidad límite? ¿qué distancia recorrería en 1 ns a esa velocidad?

Ayuda: La masa de una proteína de 100 kDa es $166 \times 10^{-24} \text{ Kg}$ y su radio, suponiendo que es esférica, es de 3 nm.

5) La inercia de una bacteria

Considere una bacteria que se mueve a una velocidad de $25 \mu\text{m}/\text{seg}$. Si se apagan los motores moleculares que le dan la fuerza de propulsión ¿Cuán lejos llegará?

Ayuda: considere que la bacteria es esférica con un radio de $1 \mu\text{m}$ y una densidad de $10^3 \text{kg}/\text{m}^3$.

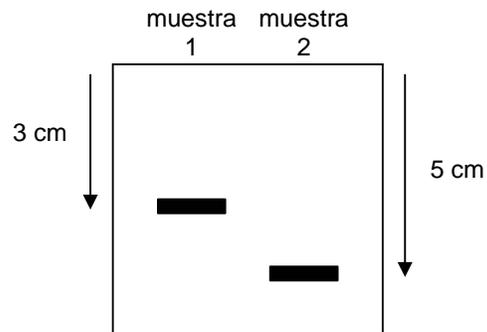
6) Electroforesis en gel (parte II)

En la guía de cinemática supusimos que las biomoléculas viajan a velocidad constante durante una electroforesis en gel.

- a) ¿Por qué ocurre esto? ¿Qué condición debe cumplir la fuerza que ejerce el campo eléctrico sobre las moléculas para que esto se cumpla?

La **calmodulina** es una proteína capaz de unir átomos de calcio (Ca^{2+}). Al hacerlo cambia de una **forma alargada** a una **forma compacta**. Esta propiedad la convierte en un sensor de la concentración de Ca^{2+} intracelular, función que la vuelve relevante en numerosos procesos celulares como inflamación, apoptosis, contracción muscular, etc. Se analizaron dos muestras de calmodulina, una con Ca^{2+} y una sin Ca^{2+} en gel no desnaturizante. Tras una hora de migración se reveló el gel obteniendo el siguiente resultado:

- b) ¿Cuál muestra corresponde a la proteína con Ca^{2+} ?
- c) Si la fuerza que ejerce el campo eléctrico es de $0,01 \text{pN}$ ¹ ¿Cuál es el coeficiente de arrastre para la calmodulina con y sin Ca^{2+} en este experimento?



¹ La naturaleza de esta fuerza será develada cuando estudiemos electrostática.

7) Suponga una bacteria esférica de $2 \mu\text{m}$ de radio y densidad $1000 \text{kg}/\text{m}^3$.

- a. Si se la suelta en el aire (o vacío, a los efectos prácticos da igual), ¿cuál será el módulo de su velocidad 1 segundo después? Tenga en cuenta la gravedad en este caso.
- b. Suponga ahora que a la misma pobre bacteria se la pone en agua (viscosidad $\eta=10^{-3} \text{kg}/\text{m}\cdot\text{s}$) y comienza a desplazarse haciendo con sus motores una fuerza equivalente a su peso. ¿Cuál será el módulo de su velocidad 1 segundo después?
- c. Grafique cualitativamente $v(t)$ para los casos a y b.
- d. ¿Se conservó la energía mecánica de la bacteria en a y en b? ¿Por qué?

Respuestas

2) $0,94 \text{pN}$ ($1 \text{pico} = 10^{-12}$)

3) $0,1 \text{fN}$ ($1 \text{femto} = 10^{-15}$)

4) 6m/s ; 6nm ($1 \text{nano} = 10^{-9}$) ; $53 \mu\text{m}/\text{s}$ ($1 \text{micro} = 10^{-6}$) ; $5,3 \text{fm}$.

5) 5pm .

6) muestra 1: $1,2 \cdot 10^{-9} \text{kg}/\text{s}$; muestra 2: $7,2 \cdot 10^{-10} \text{kg}/\text{s}$.

7) a) 10m/s ; b) $8,89 \cdot 10^{-6} \text{m/s}$