

6. Difusión en equilibrio y ley de Boltzmann

Material de lectura sugerido:

- *Física Biológica. Energía, información y vida*, Philip Nelson. Capítulo 3 y 10.
- *Random Walks in Biology*, Howard C. Berg. Cap 4 y 5.
- *Feymann lectures in Physics*. Cap 39-46.

Problemas para hacer y discutir en clase:

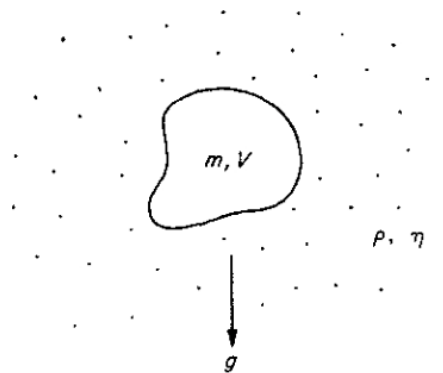
1) Sedimentación de partículas en un campo gravitacional

Se tiene una partícula de masa m y volumen v sumergida en un fluido de densidad ρ y viscosidad ν como se indica en la figura (extraída del libro *Random Walks in Biology*, Howard C. Berg.)

Escriba la fuerza neta que experimenta la partícula suponiendo que se encuentra sometida a un campo gravitatorio y muestre que la velocidad terminal de la partícula es:

$$v = \frac{m' g D}{kT} \quad (1)$$

donde m' es la masa *efectiva* de la partícula (¿a qué equivale m' ?)



- a) Deducir la relación (1) planteando la ecuación de Newton para la partícula y usando las relaciones de la guía 4:

$$\gamma^* D = kT$$

$$F_{\text{arrastr}} = \gamma^* v$$

- b) El coeficiente de sedimentación, S , se define como:

$$S = \frac{v}{g} = \frac{m' D}{kT}$$

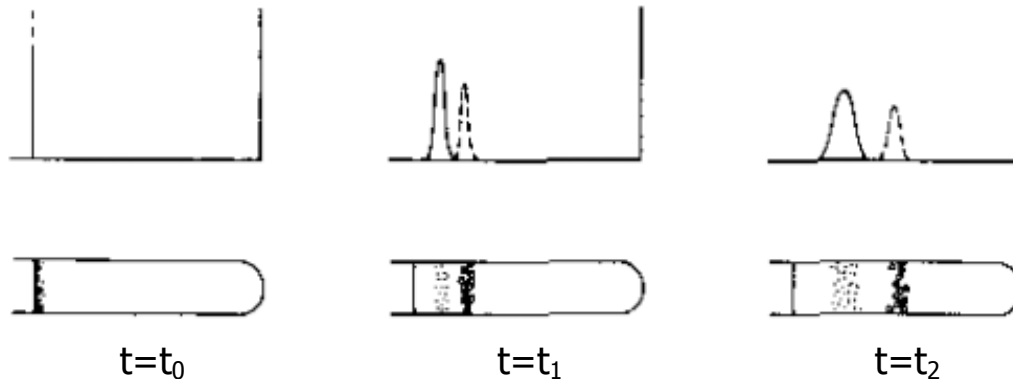
Indique las unidades de S

- c) ¿Sedimentarán igual o diferente dos partículas de igual masa pero diferente forma? Por qué?

- d) Compare la velocidad de sedimentación de un ribosoma 70 S sometido a una fuerza centrífuga equivalente a $100.000 \cdot g$ con su velocidad media, $v_{rms} \approx 100 \text{ cm/s}$. (Para calcularla, tome en cuenta que el ribosoma sedimenta a una velocidad de $7 \cdot 10^{-13} \text{ cm/s}$ en un gradiente de fuerza 1 cm/s^2)

2) Separación de proteínas en por centrifugación en una solución densa

Suponga que quiere separar una mezcla de dos proteínas cuyo coeficiente de sedimentación S difiere en un factor de dos. La mezcla de proteínas es depositada sobre una solución de sacarosa y sometida a una fuerza centrífuga constante. A medida que pasa el tiempo, ambas muestras sedimentarán a diferente velocidad y a la vez difundirán en la solución, como muestra la figura 2.



(figura extraída del libro *Random Walks in Biology*, Howard C. Berg.)

- ¿Como depende la separación de las bandas con el tiempo?
- Compare con el ensanchamiento producido por difusión. En base a esto, discuta si la resolución mejora o empeora a medida que pasa el tiempo.

Ley de Boltzmann

Como vimos en las guías 3 y 4, un sistema de partículas en equilibrio no está quieto: las partículas se mueven y chocan entre sí como resultado de la agitación térmica (describiendo caminatas al azar). Esto produce que las partículas no pasen todo su tiempo en el estado de menor energía, sino que se encontrarán en este estado con máxima probabilidad, pero pasarán una fracción de su tiempo en estados de mayor y menor energía. Si pensamos en una serie de estados i de energía U_i , la probabilidad p_i de encontrar a una partícula en el estado i es:

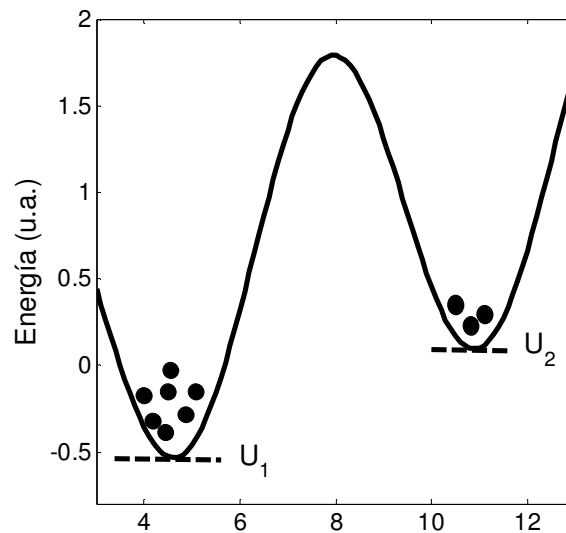
$$p_i = \frac{1}{Z} e^{-\frac{U_i}{kT}}$$

donde $Z = \sum_i e^{-\frac{U_i}{kT}}$ es una constante de normalización que asegura que la suma de las probabilidades sea igual a 1.

3) *Sistema de dos estados*

Supongamos que un sistema puede encontrarse en dos estados, con energías U_1 y U_2 como muestra la figura; es decir que la diferencia de energía entre los dos estados es ΔU .

- Halle la probabilidad de encontrar una molécula en el estado dos relativo al estado uno (p_2/p_1)
- ¿Depende esta probabilidad de la altura de la barrera de energía que separa ambos estados? ¿Porqué? ¿Qué sucede si la barrera fuese mucho más grande?

4) *Distribución de densidad de un gas en la atmósfera*

Las moléculas de gas presentes en el aire se encuentran sometidas a un campo gravitacional, por lo cual cada molécula tendrá energía potencial $U = mgh$.

- Escriba la probabilidad de encontrar a una molécula a una altura h respecto de la probabilidad de encontrarla sobre la superficie de la tierra a una temperatura T . Haga un gráfico de probabilidad en función de la altura.
- ¿Cuál es la probabilidad de encontrar una molécula a una altura h tal que la energía (mgh) sea igual a kT ?

5) *Sedimentación y equilibrio*

Las proteínas del problema 2 se dejaron en la centrífuga andando por mucho tiempo.

- ¿Qué distribución tendrá el sistema en el equilibrio? Grafique.
- ¿Cómo se relaciona el estado de equilibrio con el fenómeno de sedimentación de los problemas 1 y 2? ¿Qué ocurre con la fuerza sobre la partícula en el equilibrio?
- Describe el movimiento de las partículas (cualitativamente) en el estado de equilibrio

6) *Ecuación de Nernst*

Consideren moléculas con carga q entre dos compartimentos de potencial eléctrico 0 y V volts, usando la ley de Boltzmann encuentren la concentración relativa de iones entre los dos compartimentos (ayuda: use la energía de una partícula de carga q bajo una diferencia de potencial V):

7) *Evaporación*

En función de todo lo visto en la guía, piense lo siguiente. La temperatura de ebullición de agua es 100°C . ¿Por qué al calentar el agua y llevarla a esa temperatura no se evapora instantáneamente?