

Física da Corpa Humana

Licenciatura em Física

Ano letivo de 2021/2022 - 1º semestre.

Estas notas resultam directamente da adaptação de materiais de apoio utilizados nas aulas de Física do Corpo Humano para o curso de Licenciatura em Física – Percurso C – Física Médica, para o ano letivo de 2021/2022.

São facultadas apenas para servirem como guia das matérias abordadas, podendo ser vistas como “sumários” alargados e ilustrados de cada um dos temas. Sendo, na sua maioria, cópias directas dos “slides” apresentados **não devem**, pelo exposto, **ser tomadas como elemento de estudo**.

As publicações referidas na bibliografia (todas elas existentes nas bibliotecas da Universidade do Minho e /ou na posse do docente responsável) deverão servir para o estudo aprofundado dos temas tratados nesta unidade curricular.

Francisco J. M. Macedo
(DF – UM)

Fenómenos de transporte - Transporte de massa

- Condução térmica
(eq difusão calor)
- Viscosidade
- Difusão Molecular

$$\frac{d\xi}{dt} = \alpha \frac{d^2\xi}{dx^2}$$

Equação de difusão

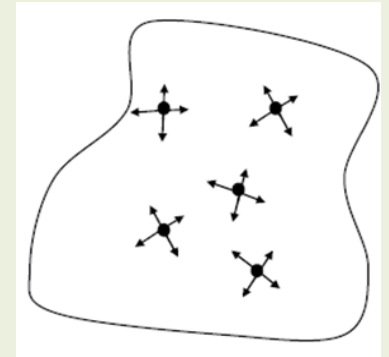
Movimento aleatório de moléculas

A probabilidade do deslocamento independe da direção

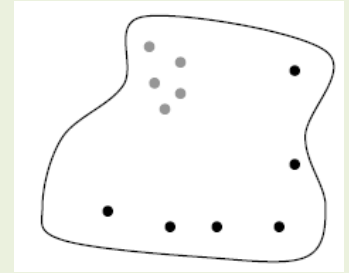
Se desprezarmos os efeitos de fronteira, temos:

o deslocamento médio é nulo

a distância percorrida por cada molécula é não nula



A probabilidade é a mesma para todas as moléculas?

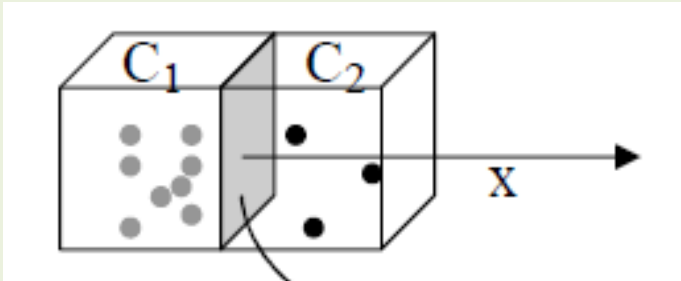


→ mais provável para as que estão em zonas de maior concentração

→ resultado \Rightarrow uniformização da concentração
(os movimentos aleatórios continuam a ocorrer com igual probabilidade)

Considerando uma descrição macroscópica da distribuição espacial das moléculas \rightarrow através da concentração, podemos chegar às **Leis de difusão de Fick**.

1ª Lei de Fick



Fluxo de moléculas da zona de maior concentração para a zona de menor concentração → **difusão**

$$C_1 > C_2$$

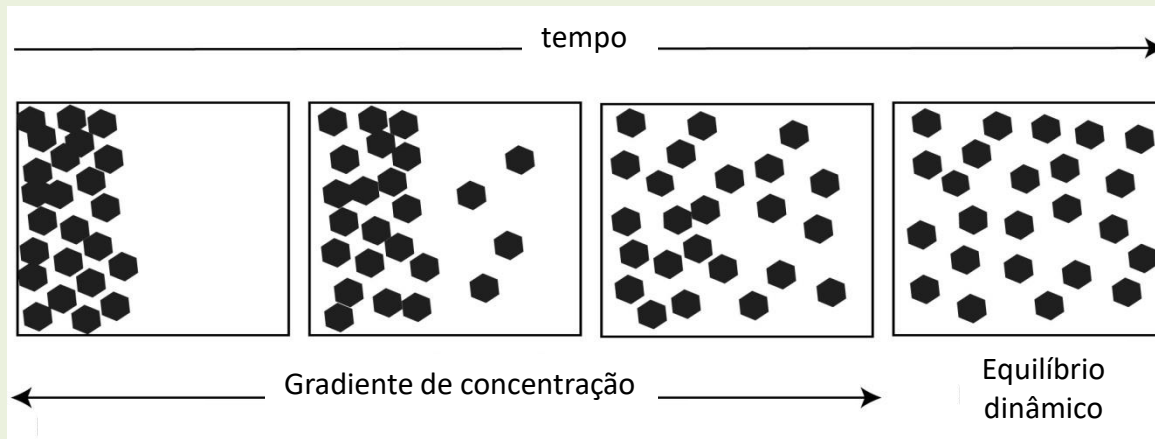
$$\frac{\partial C}{\partial x} < 0$$

$$j_x = -D \frac{\partial C}{\partial x}$$

j – quantidade de soluto que difunde por unidade de tempo e por unidade de área

D – coeficiente de difusão

$\partial C / \partial x$ – variação espacial da concentração



Coeficientes de difusão (D) a 25 °C e pressão atmosférica normal

	$D/(\text{m}^2/\text{s})$
No ar	
CO ₂	16.4×10^{-6}
H ₂ O vapor	25.6×10^{-6}
C ₆ H ₆ (benzeno)	8.8×10^{-6}
Na água	
CO ₂	1.60×10^{-9}
N ₂	2.34×10^{-9}
H ₂ S	1.36×10^{-9}
NaCl	1.3×10^{-9}

2ª Lei de Fick

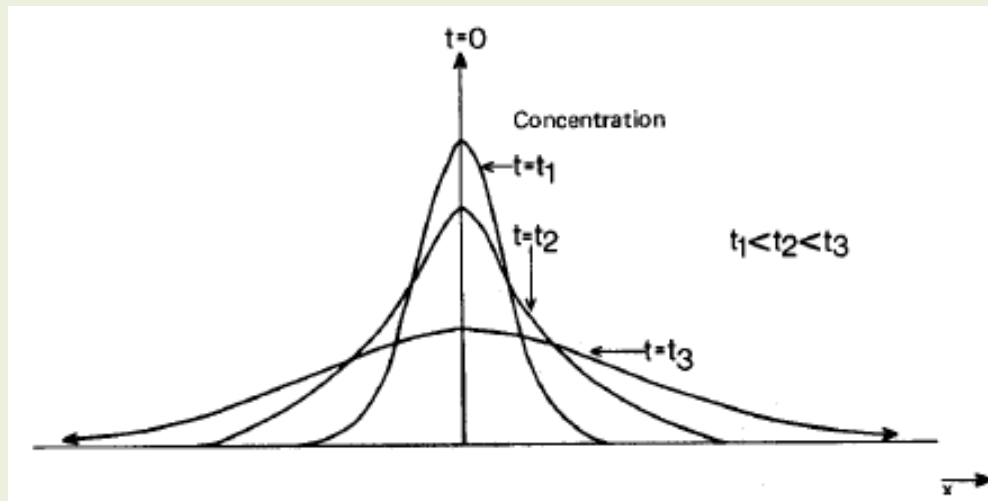
$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

Expressa a conservação do número de partículas

Taxa de acumulação = taxa de entrada – taxa de saída

Genericamente temos:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \nabla^2 C$$



→ O cálculo do desvio quadrático é dado por:

$$\overline{x^2} = \frac{\int x^2 C(x, t) dx}{\int C_0(x) dx}$$

em que $\frac{C(x, t) dx}{\int C_0(x) dx}$ representa a probabilidade do soluto estar entre x e $x+dx$

A partir daqui é possível chegar a uma relação entre x , D e t :

$$\overline{x^2} = 2Dt \quad (\text{para difusão numa linha infinita})$$

→ O coeficiente de difusão pode relacionar-se com a viscosidade através da relação de Stokes-Einstein:

$$D = \frac{k_B T}{f}$$

T – temperatura absoluta
 k_B – constante de Boltzmann
 f – coeficiente de fricção

Para moléculas esféricas:

$$f = 6\pi\eta r$$

η – viscosidade
 r – raio da molécula

→A difusão pode ser muito importante no corpo humano para processos que ocorrem em muito pequena escala, 1-100 μm .

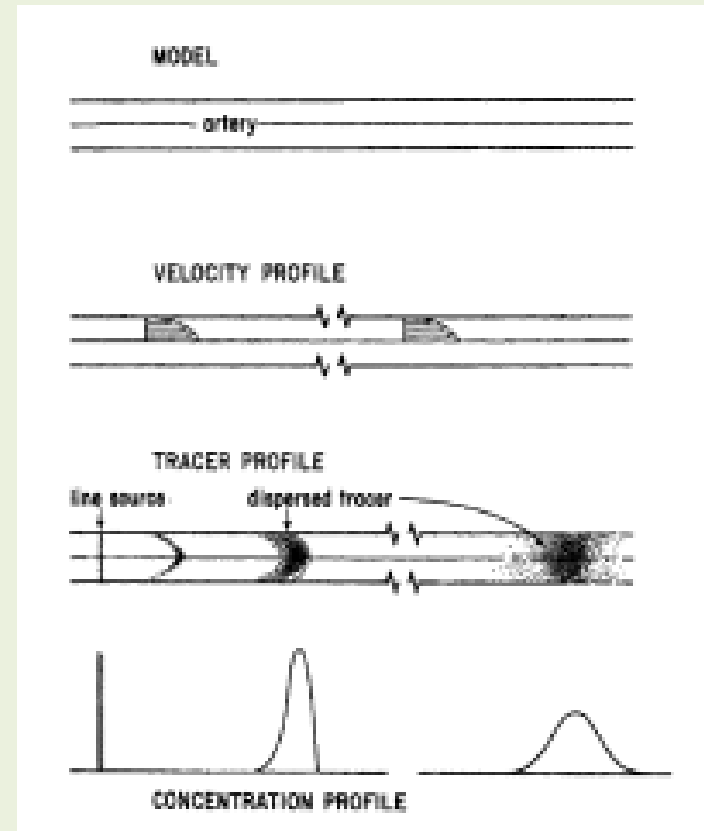
→difusão oxigénio $\sim 100 \mu\text{m}$

→Não sendo um processo “direcional”, limita a quantidade de matéria que pode ser transportada de um local para outro.

→Aumenta a “Entropia” (grau de desordem) do sistema.

→ A difusão também é importante em “sistemas dinâmicos”

Fig. - Difusão de um injetável (pontual) numa artéria.



Exemplos:

Ao colocar-se a enzima urease no fundo de um copo de água com 4 cm de altura, qual será o tempo que demora a atingir o cimo do copo? ($D = 3.5 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$)

$$t = \frac{\overline{x^2}}{2D} = \frac{0.04^2}{2 \times 3.5 \times 10^{-11}} = 2.3 \times 10^7 \text{ s} \approx 9 \text{ meses}$$

E quanto tempo demora a percorrer uma célula de 5µm de diâmetro?

$$t = \frac{\overline{x^2}}{2D} = \frac{(5 \times 10^{-6})^2}{2 \times 3.5 \times 10^{-11}} = 0.36 \text{ s}$$

Logo a difusão é um processo que, a nível celular, pode considerar-se eficiente!