Licenciatura em Biologia

Física para Biólogos

2019-2020

Programa

- Física na Biologia
- **Sólidos e Fluidos**
- Electricidade
- Magnetismo
- Vibrações e Ondas
- Óptica geométrica
- Física Contemporânea (!)

Estes slides contêm imagens retiradas da web, assim como conteúdos gráficos da referência
Physics of the Life Sciences, J. Newman, Springer, 2008.

Licenciatura em Biologia

Física para Biólogos

2019-2020

2- Sólidos e Fluidos

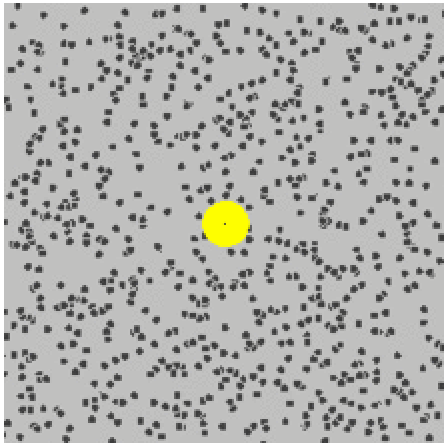
- Movimentos.
- Forças e movimentos. Conservação do momento linear.
- Trabalho e energia. Conservação de energia e energia potencial.
- Pressão. Princípio de Arquimedes.
- Tensão superficial e capilaridade.
- Escoamentos e equação de Bernoulli.
- Viscosidade.
- Movimento de insectos, aves e bactérias.
- **Difusão e pressão osmótica.**
- Equação de Nernst para a membrana do axónio.

2.9 Difusão e pressão osmótica.

O fenómeno cuja descoberta é geralmente atribuída ao botânico Robert Brown já foi referido nas TPs.

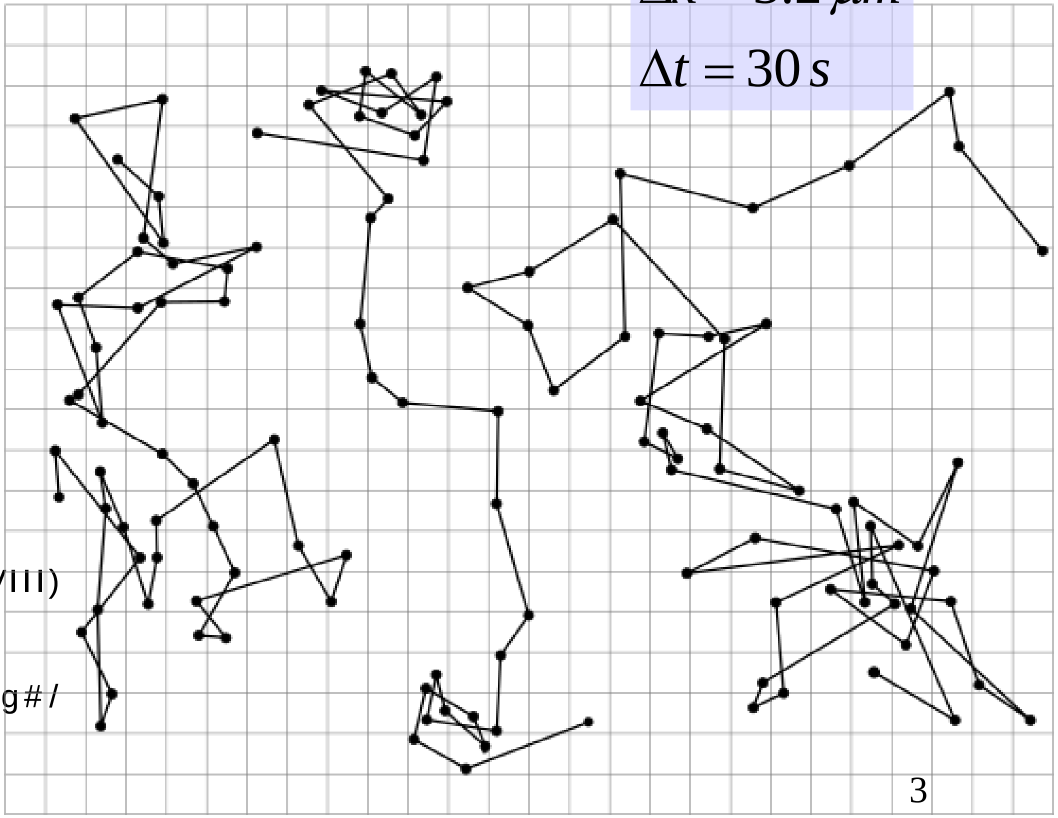
Movimento browniano

http://weelookang.blogspot.com/2010/06/ejs-open-source-brownian-motion-gas.html



$\Delta x = 3.2\,\mu m$

$\Delta t = 30\,s$



J. B. Perrin, "Mouvement brownien et réalité moléculaire," Ann. de Chimie et de Physique (VIII) 18, 5-114 (1909).

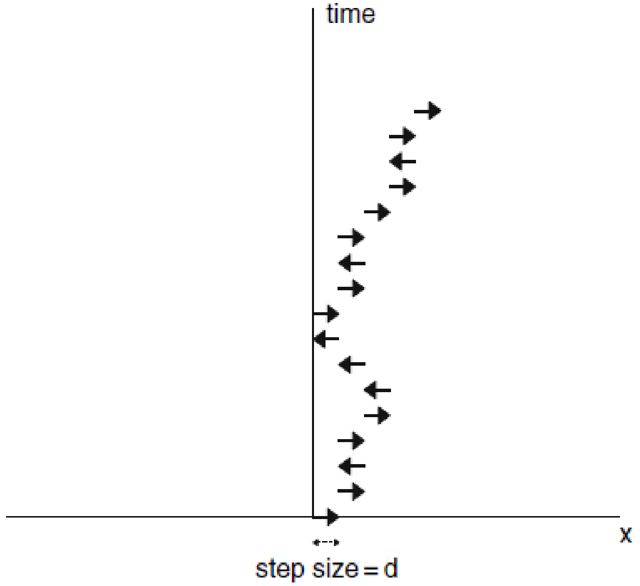
http://en.wikipedia.org/wiki/File:PerrinPlot2.svg#/media/File:PerrinPlot2.svg

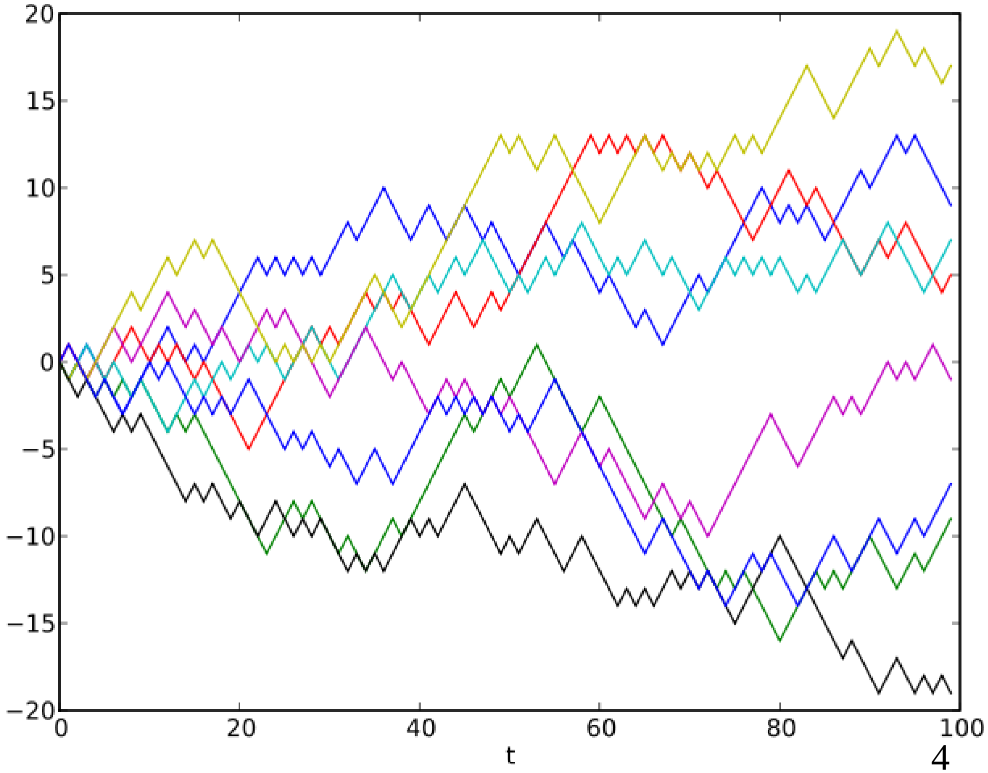
2.9 Difusão e pressão osmótica.

O estudo matemático destes fenómenos foi iniciado por Einstein e por Bachelier, no início do século XX.

Movimento browniano e random walk

"Random Walk example" by Morn
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Random_Walk_example.svg#/media/File:Random_Walk_example.svg

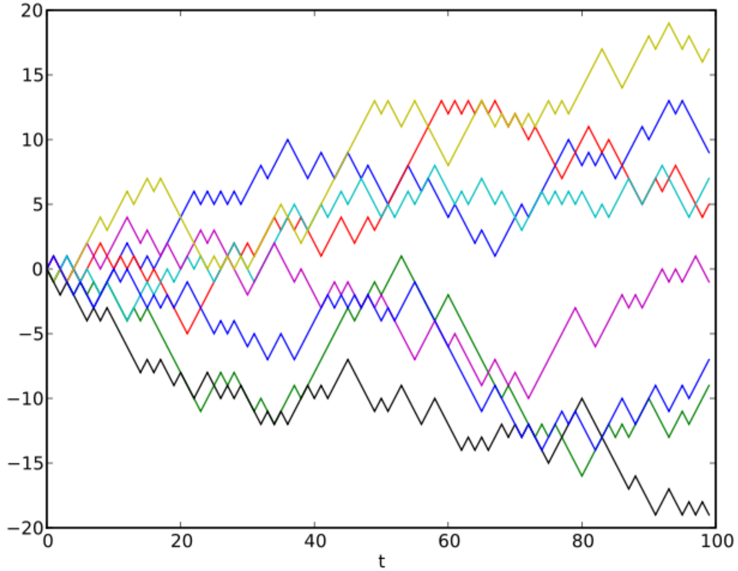


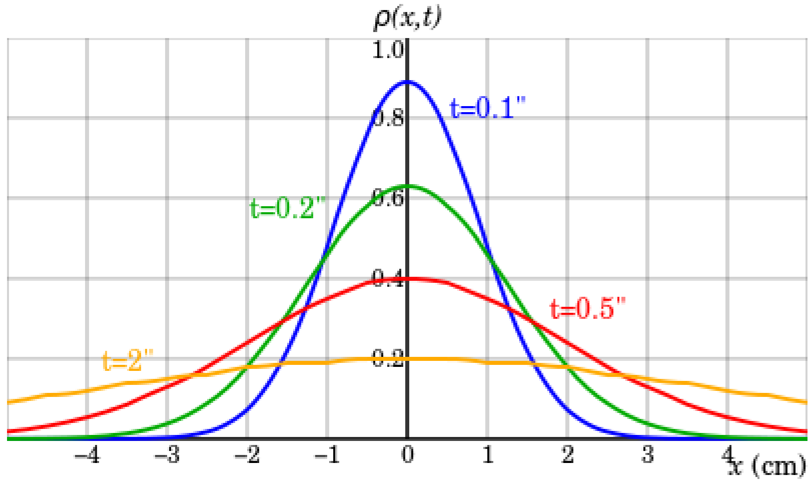


2.9 Difusão e pressão osmótica.

O estudo matemático destes fenómenos envolve o conceito de processo estocástico, de que a marcha aleatória é um exemplo.

Movimento browniano e random walk



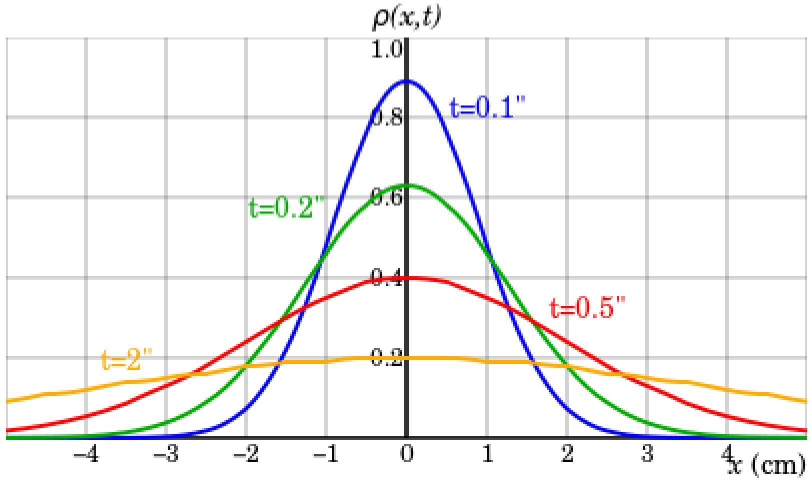


Uma sequência da observações corresponde a uma realização do processo estocástico.

2.9 Difusão e pressão osmótica.

Não podemos prever o resultado de uma observação, mas sim a estatística de um conjunto de observações.

Movimento browniano e random walk



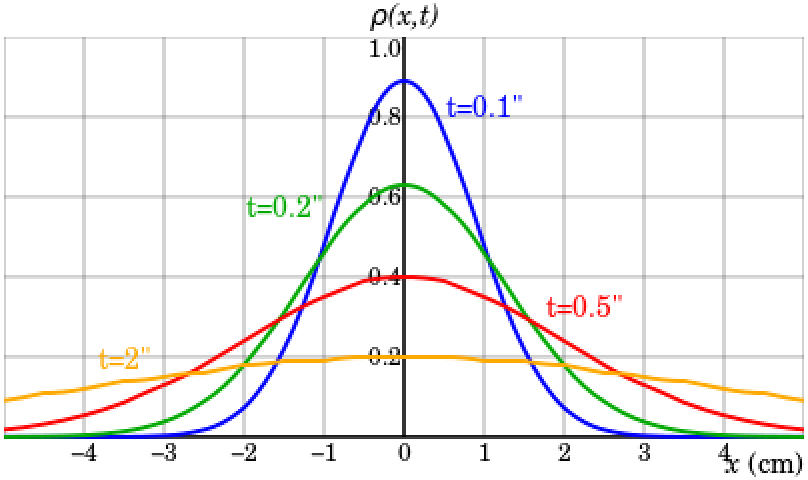
$$p(x,t)=\frac{1}{\sqrt{4\pi Dt}}e^{-\frac{x^2}{4Dt}}$$

A probabilidade de presença de um partícula browniana é uma gaussiana de variância proporcional ao tempo.

2.9 Difusão e pressão osmótica.

A probabilidade de presença de um partícula browniana é uma gaussiana de variância proporcional ao tempo. O que é que isso nos diz sobre a posição da partícula?

Movimento browniano e random walk



$$p_G(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$$

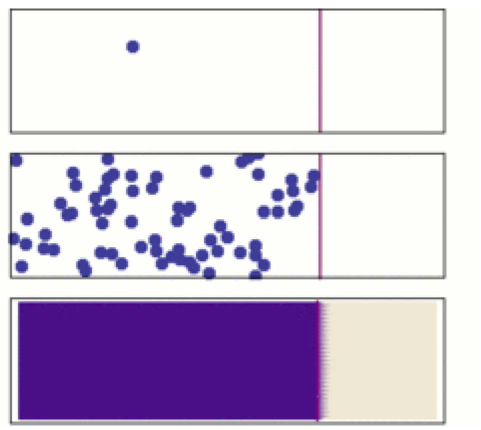
$$<\Delta x^2> = 2Dt$$

$$d = \sqrt{2Dt}$$

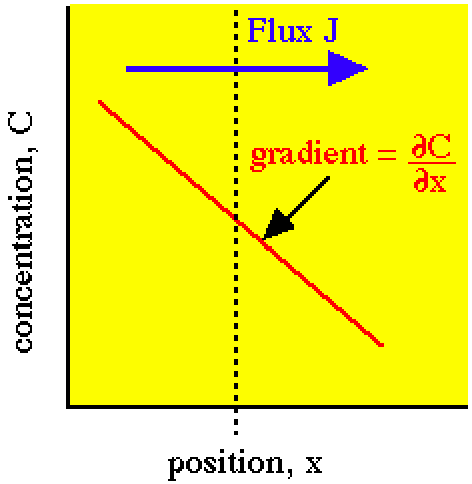
2.9 Difusão e pressão osmótica.

Este é o mecanismo da homogeneização de concentrações por difusão.

Movimento browniano e difusão



$$j = -D\frac{dc}{dx}$$



Gradientes de concentração geram fluxos de matéria proporcionais: a lei de Fick é a manifestação macroscópica de uma random walk microscópica com o mesmo coeficiente D.

2.9 Difusão e pressão osmótica.

A difusão é um processo lento.

Movimento browniano e difusão

Quiz 38

O coeficiente de difusão da glucose na água é de $6\ 10^{-6}\ cm^2/s$.
Quanto tempo tem que esperar para tomar um café com açúcar se não mexer a chávena?

2.9 Difusão e pressão osmótica.

A difusão é um processo lento.

Movimento browniano e difusão

Quiz 38

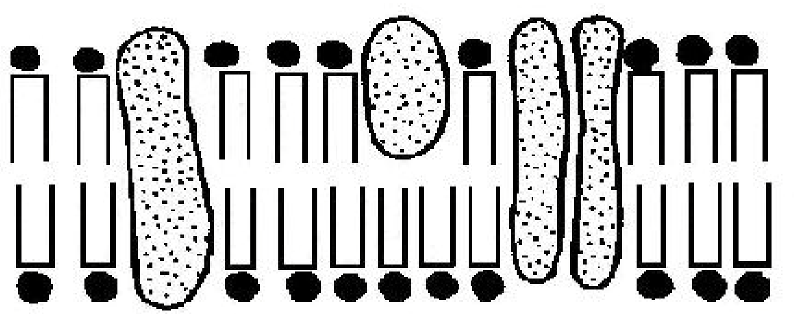
O coeficiente de difusão da glucose na água é de $6\,10^{-6}\,cm^2/s$.
Quanto tempo tem que esperar para tomar um café com açúcar se não mexer a chávena?

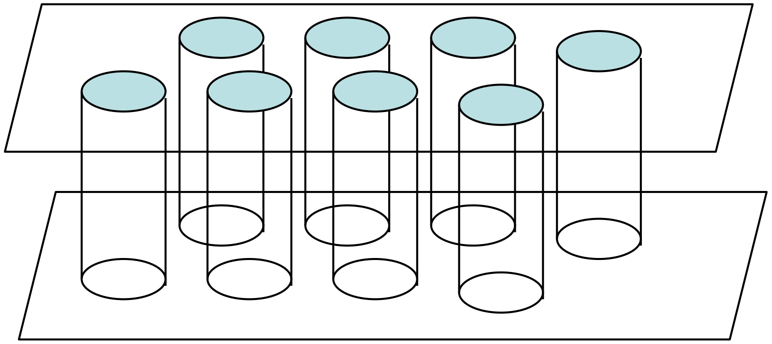
$$\Delta t = d^2 / 2D \approx 75\,10^4\,s$$

2.9 Difusão e pressão osmótica.

Uma membrana semipermeável biológica ou artificial pode ser modelada como a associação em paralelo de canais cilíndricos...

Membranas e pressão osmótica





$$R_p = \frac{8\eta L}{\pi r^4}$$

$$R_m = \frac{8\eta L}{N\pi r^4}$$

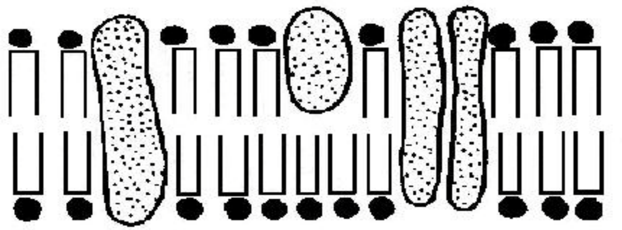
$$Q = \frac{\Delta p}{R_m}$$

...e o escoamento hidrodinâmico através dela pela lei de Poiseuille.

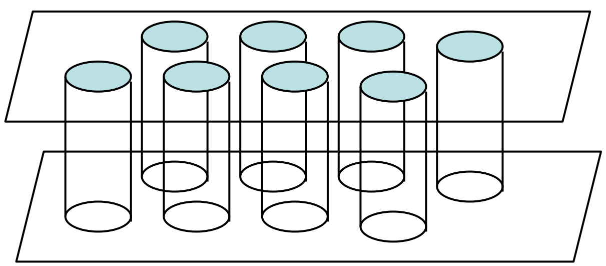
2.9 Difusão e pressão osmótica.

Uma membrana pode ser modelada pela lei de Poiseuile para canais cilíndricos paralelos.

Membranas e pressão osmótica



$$R_m = \frac{8\eta L}{N\pi r^4}$$



$$j = \rho Q_1 = -\frac{\rho}{R^1{}_m}\Delta p = -\frac{N\rho\pi r^4}{8\eta L}\Delta p$$

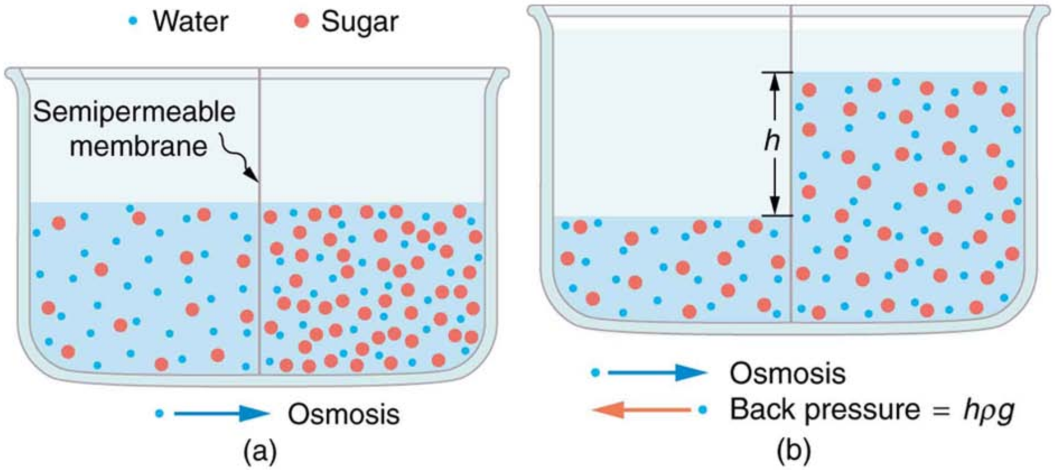
Fluxo hidrodinâmico contra o gradiente de pressão.

$$j = -\frac{P}{L}\Delta p$$

2.9 Difusão e pressão osmótica.

Numa membrana semipermeável há fluxos difusivos, para além dos fluxos hidrodinâmicos.

Membranas e pressão osmótica



Fluxo hidrodinâmico contra o gradiente de pressão.

$$j = -\frac{P}{L}\Delta p$$

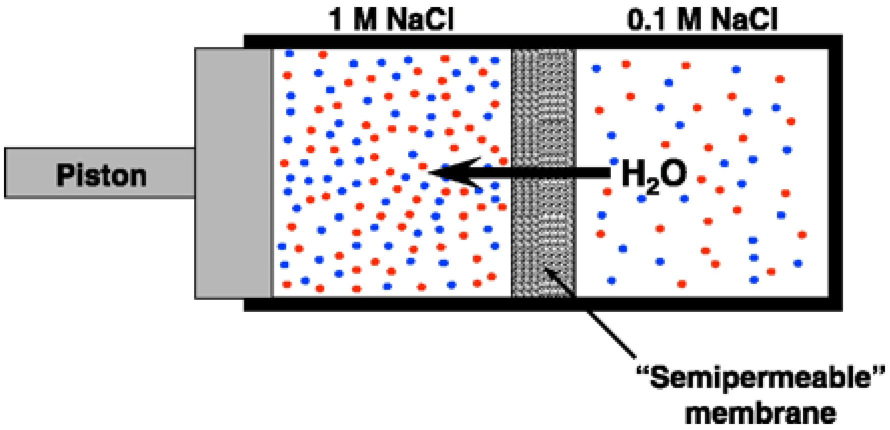
Fluxo difusivo contra o gradiente de concentração.

$$j = -\frac{D}{L}\Delta c$$

2.9 Difusão e pressão osmótica.

Numa membrana semipermeável há fluxos difusivos, para além dos fluxos hidrodinâmicos.

Membranas e pressão osmótica



Define-se a pressão osmótica como a pressão hidrodinâmica que equilibra o fluxo difusivo.

Fluxo hidrodinâmico contra o gradiente de pressão.

$$j = -\frac{P}{L}\Delta p$$

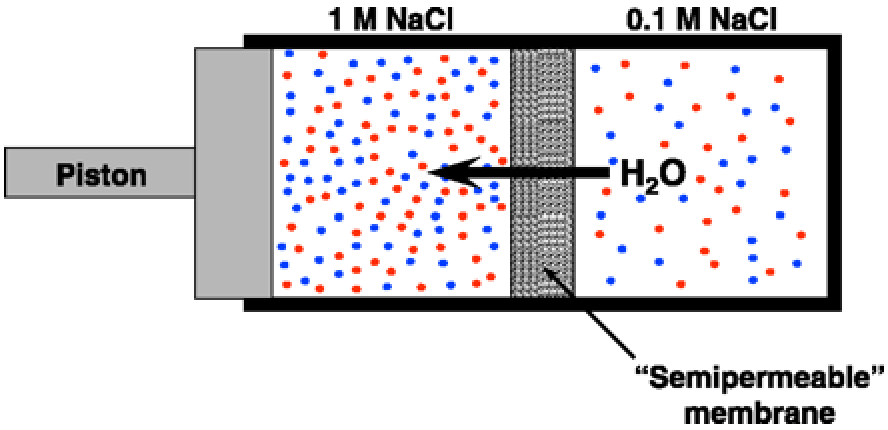
Fluxo difusivo contra o gradiente de concentração.

$$j = -\frac{D}{L}\Delta c$$

2.9 Difusão e pressão osmótica.

Numa membrana semipermeável há fluxos difusivos, para além dos fluxos hidrodinâmicos.

Membranas e pressão osmótica



Define-se a pressão osmótica como a pressão hidrodinâmica que equilibra o fluxo difusivo.

$$j = -\frac{P}{L}\Delta p$$

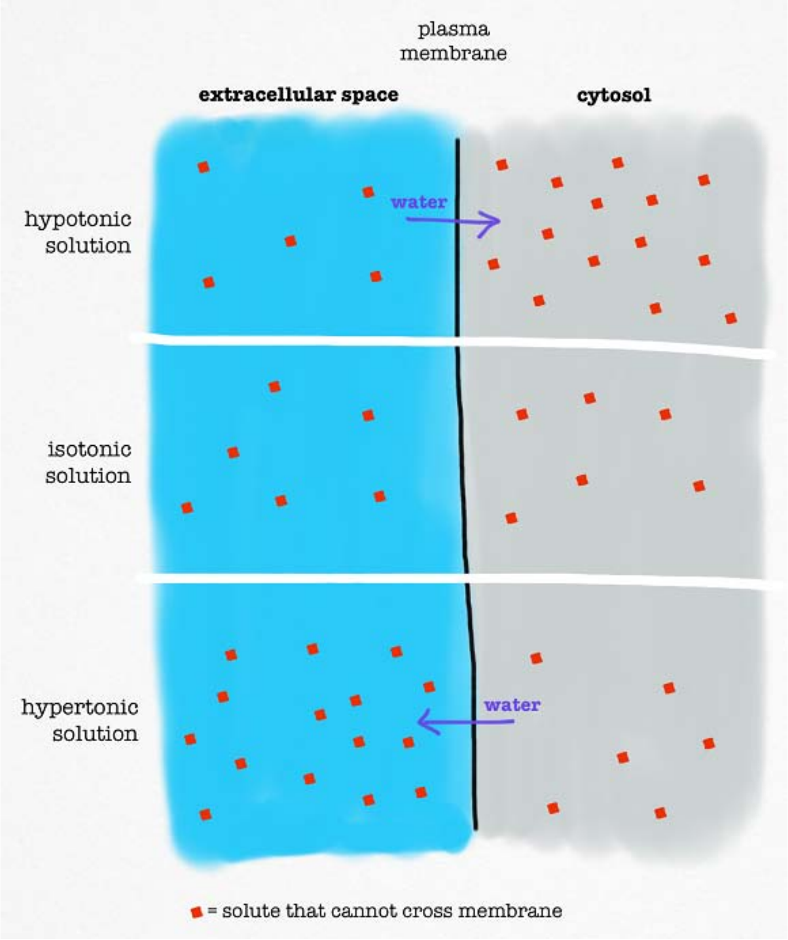
$$\Delta\pi = -\frac{D}{P}\Delta c$$

$$j = -\frac{D}{L}\Delta c$$

2.9 Difusão e pressão osmótica.

A osmose é um determinante importante dos fluxos través da membrana celular, que é selectivamente permeável.

Membranas e pressão osmótica



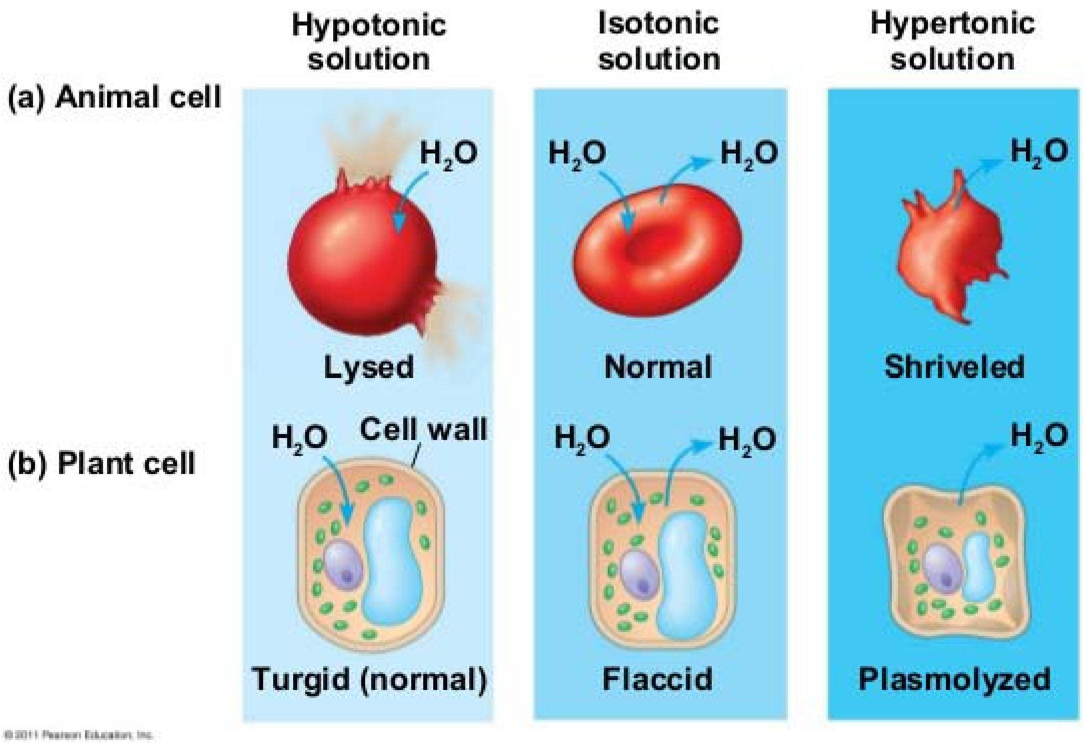
A pressão osmótica depende da relação entre a concentração exterior e a interior

2.9 Difusão e pressão osmótica.

A osmose é um determinante importante dos fluxos través da membrana celular.

Membranas e pressão osmótica

Campbell Biology, Benjamin Cummings; 9 edition, 2012



A pressão osmótica depende da relação entre a concentração exterior e a interior

Licenciatura em Biologia

Física para Biólogos

2019-2020

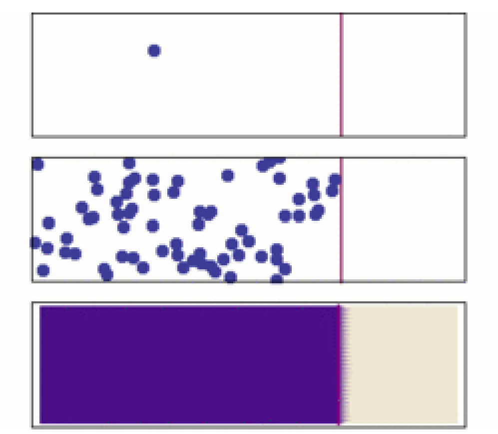
2- Sólidos e Fluidos

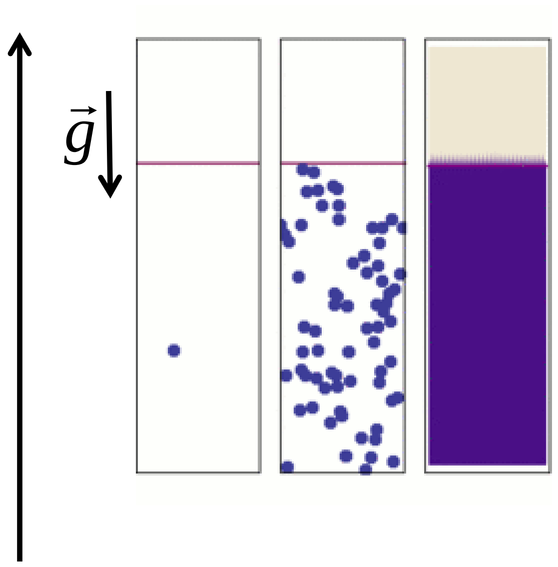
- Movimentos.
- Forças e movimentos. Conservação do momento linear.
- Trabalho e energia. Conservação de energia e energia potencial.
- Pressão. Princípio de Arquimedes.
- Tensão superficial e capilaridade.
- Escoamentos e equação de Bernoulli.
- Viscosidade.
- Movimento de insectos, aves e bactérias.
- Difusão e pressão osmótica.
- **Equação de Nernst para a membrana do axónio.**

2.10 Equação de Nernst

Vimos que a difusão é o mecanismo pelo qual se dá o equilíbrio de concentração.

Difusão e deriva



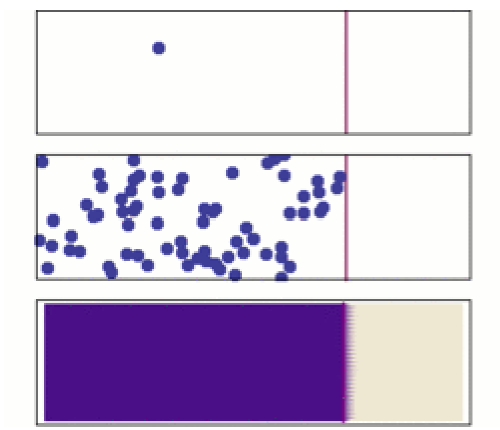


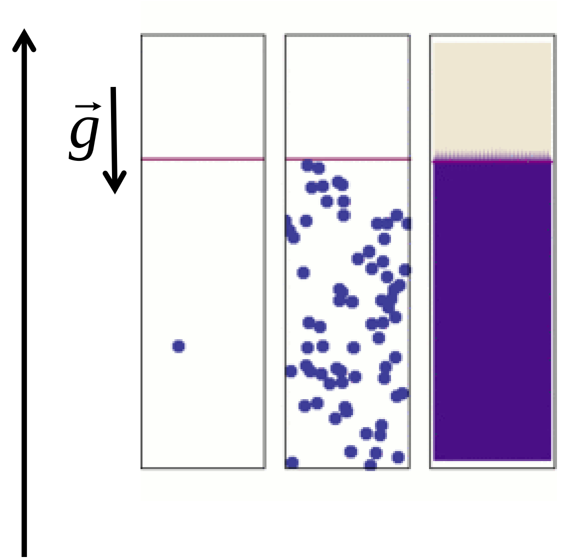
Como é que este mecanismo se altera na presença de uma força que se exerça sobre todas as partículas?

2.10 Equação de Nernst

A resposta da mecânica macroscópica é que todas as partículas ‘caem’, mas para além disso existem fluxos difusivos.

Difusão e deriva



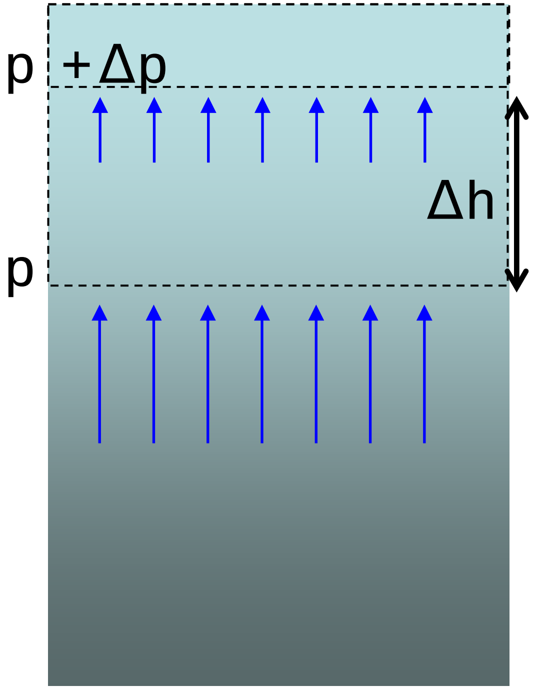


O perfil de densidade de equilíbrio traduz o balanço destes dois efeitos.

2.10 Equação de Nernst

Pensemos no perfil vertical de densidade da atmosfera em equilíbrio a uma certa temperatura.

Difusão e deriva



$$\Delta p = -\rho\, g\, \Delta h = -c\, m\, g\, \Delta h$$

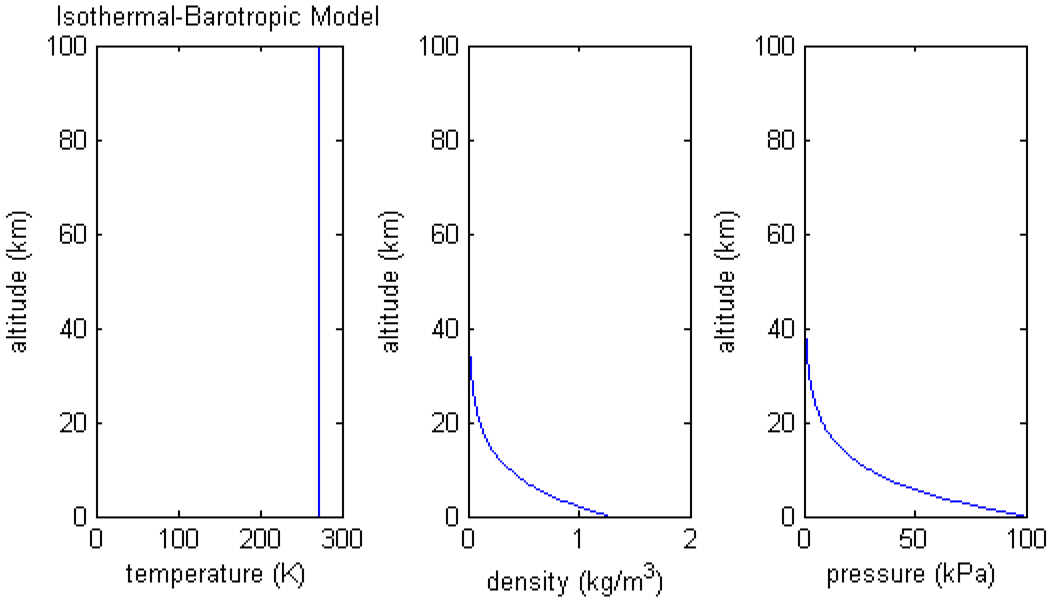
$$pV = N\, kT \Leftrightarrow p = c\, kT$$

$$\frac{\Delta p}{\Delta h} = -\frac{m\, g}{kT}\, p \Leftrightarrow p = p_0 e^{-\frac{mgh}{kT}}$$

O raciocínio é o mesmo que fizemos para os líquidos em equilíbrio, tendo em conta agora a compressibilidade do ar.

Assim obtemos um perfil exponencial, em vez de linear como no caso dos líquidos.

Difusão e deriva



$$c = c_0 e^{-\frac{mgh}{kT}}$$

$$e^{-\frac{E}{kT}} \quad !!!$$

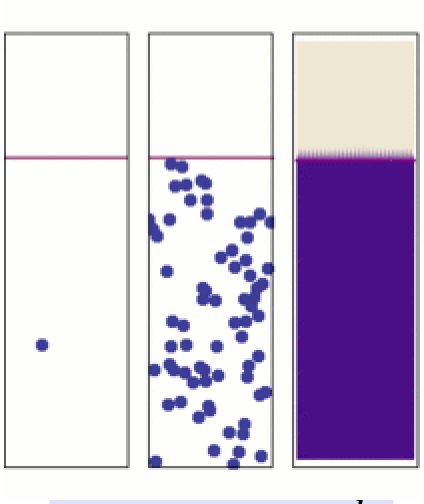
Isothermal-barotropic atmosphere model".
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Isothermal-barotropic_atmosphere_model.png

O perfil de densidade de equilíbrio traduz o balanço da deriva e da difusão.

2.10 Equação de Nernst

O perfil de densidade de equilíbrio traduz o balanço da deriva e da difusão.

Difusão e deriva



$$c = c_0 e^{-\frac{mgh}{kT}}$$

$$j_{dif} = -D \frac{dc}{dx}$$

$$j_{drift} = -c\, v_s = -c \frac{mg}{f}$$

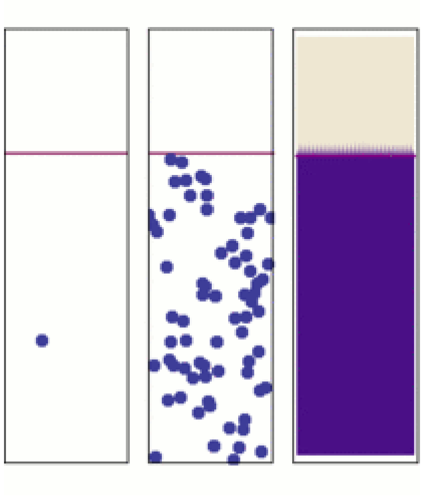
$$j_{dif} + j_{drift} = 0 \Rightarrow D = \frac{kT}{f}$$

A relação de Einstein quantifica a natureza térmica da difusão.

2.10 Equação de Nernst

Qualquer campo de forças tem como efeito estabilizar gradientes de concentração.

Factor de Boltzmann



$$c = c_0 e^{-\frac{mgh}{kT}}$$

$$\frac{c_1}{c_2} = e^{-\frac{\Delta E}{kT}}$$

O factor de Boltzmann regula esses equilíbrios. A equação de Nernst expressa esta lei geral para a concentração de iões carregados dentro e fora de uma membrana polarizada.

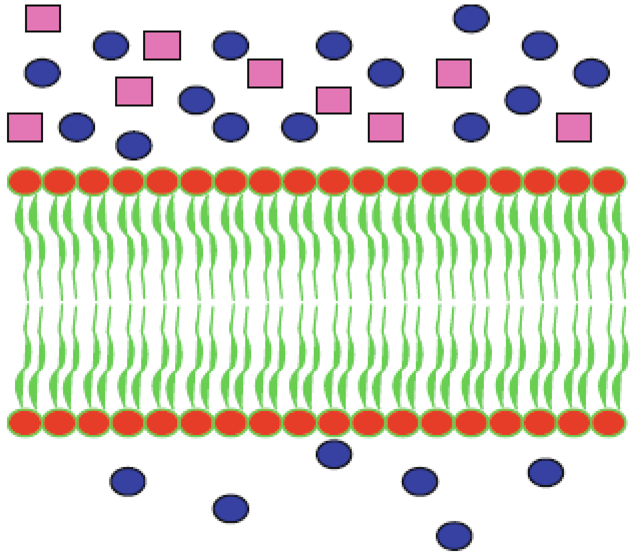
2.10 Equação de Nernst

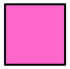
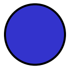
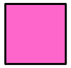
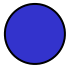
Numa membrana polarizada, os iões são actuados por uma força eléctrica proporcional à sua carga, e o potencial eléctrico joga o papel do potencial gravítico no factor de Boltzmann.

Lei de Nernst para a membrana celular

$$\frac{c_1}{c_2} = e^{-\frac{\Delta E}{kT}}$$

$$V_{in} - V_{ext} = \frac{kT}{q} \log \frac{c_{ext}}{c_{in}}$$



Membrana impermeável a  (-) e permeável a  (+).
 polariza a membrana. A concentração de equilíbrio de  é maior de um dos lados da membrana, devido às forças eléctricas.

2.10 Equação de Nernst

Estas forças eléctricas, especialmente importantes na membrana neuronal, serão estudadas a seguir.

Lei de Nernst para a membrana celular

Table 16.2 *Typical Ion Concentrations and Nernst Potentials (Mammalian Skeletal Muscle)*

Ion	*Typical Internal Concentration (mM)**	*Typical External Concentration (mM)*	*Nernst Potential (mV)*
Na^+	12	145	+67
K^+	155	4	−98
Ca^{2+}	10^{-4}	1.5	+129
Cl^-	4	120	−90

* 1 mM = 10^{-3} M = 10^{-3} mol/L.

J Newman, Physics of the Life Sciences
Springer, 2008