

Universidade de São Paulo

Instituto de Física

Física Ciências Biológicas

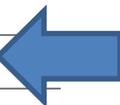
Aula 11

Prof. Paulo R. Costa
pcosta@if.usp.br

2o. Semestre de 2022
Monitoras: Giovanna Fleming/Beatriz Costa Bonzoi

Agradecimentos: Profa. Marcia Rizutto e Prof. Odilon D. D. Couto Jr.

	Datas	Aulas	Tema
	15/08	1	ABERTURA DO CURSO
Introdução ao curso	22/08	2	Introdução ao método experimental
	29/08	3	Exercícios sobre gráficos e tratamento de dados
	05/09		Semana da pátria
	12/09	4	Resultados dos experimentos com as bolinhas
Forças e movimento	19/09	5	Movimento/Forças/Biomecânica
Fluidos	26/09	6	Pressão/hidrostática/hidrodinâmica
	03/10	7	25ª Semana temática da Biologia
Calor e termodinâmica	10/10	8	Calor/termodinâmica
Ondas e som	17/10	9	Ondulatório/audição
Avaliação 1	24/10	10	Prova 1
Eletricidade	31/10	11	Campo elétrico/capacitores/potencial de Nerst
Ondas eletromagnéticas	07/11	12	Radiação/interferência/difração
	14/11		Proclamação da República
Física moderna	21/11	13	Modelos atômicos/dualidade onda-partícula
	28/11	14	Teoria quântica/física nuclear
Avaliação 2	05/12	15	Prova 2
	12/12	16	Prova substitutiva

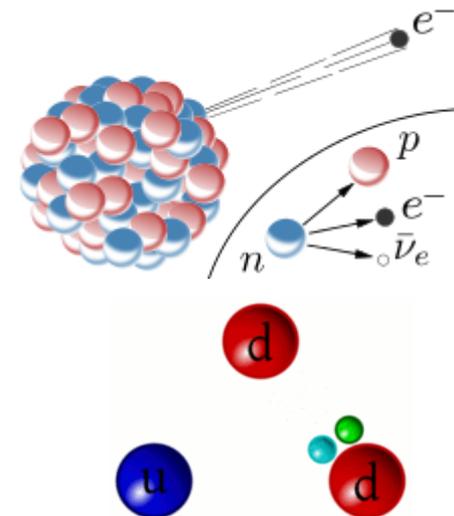
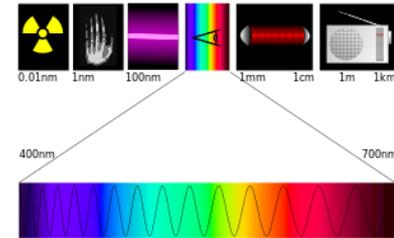


Eletricidade

- **Corrente elétrica**
- **Lei de Ohm**
- **Circuito elétrico simples**
- **Bioeletricidade**
- **Equação de Nernst-Planck**
- **Equilíbrio de Donnan**

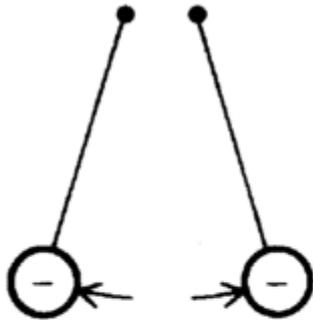
Forças fundamentais da natureza

- Gravitacional ($1/d^2$)
 - Massas/curvatura do espaço-tempo
- Eletromagnética ($1/d^2$)
 - Cargas elétricas, átomos, sólidos
- Nuclear fraca
 - União entre as partículas nucleares
- Nuclear forte (10^{-13} cm)
 - União entre os quarks

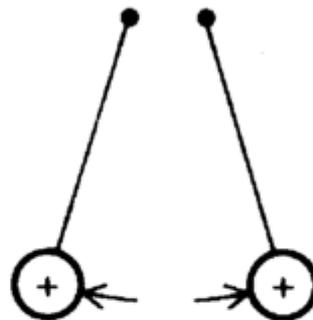


Carga elétrica

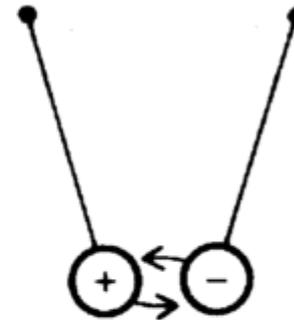
Existem dois tipos de carga. Por convenção, recebem os nomes de **positiva** e **negativa**



**Cargas iguais negativas (-)
se repelem**



**Cargas iguais positivas (+)
se repelem**



Cargas diferentes se atraem

Cargas de mesmo sinal **se repelem** e cargas de sinais opostos **se atraem**

Carga elétrica

Corpo neutro -> mesmo número de cargas positivas e negativas
Atrito entre duas superfícies -> transferência de cargas



Carga elétrica

Atrito lã com diferentes materiais tem efeitos distintos



Carga elétrica

Quantização das cargas

$$e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C} \rightarrow q = ne \text{ com } n = \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots$$

Conservação das cargas

Em todos os processos na natureza, a carga total (soma das cargas positivas e negativas) de um sistema isolado se conservam

Força elétrica

Lei de Coulomb

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$



Se as cargas q_1 e q_2 são dadas em Coulomb, a distância, r , em metros e a força em Newton, qual as unidades de k ?

- (a) $\text{N}^{-1}\text{m}^{-2}\text{C}^2$
- (b) $\text{Nm}^{-2}\text{C}^{-2}$
- (c) $\text{N}^{-1}\text{m}^{-2}\text{C}^{-2}$
- (d) Nm^2C^{-2}



Força elétrica

Lei de Coulomb

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$



Se as cargas q_1 e q_2 são dadas em Coulomb, a distância, r , em metros e a força em Newton, qual as unidades de k ?

- (a) $N^{-1}m^{-2}C^2$
- (b) $Nm^{-2}C^{-2}$
- (c) $N^{-1}m^{-2}C^{-2}$
- (d) Nm^2C^{-2}**



Força elétrica

Lei de Coulomb

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$



$$k = 1/(4\pi\epsilon_0) = 9 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2 \quad (\text{SI})$$

$\epsilon_0 \rightarrow$ permissividade elétrica do vácuo \approx permissividade elétrica do ar
q é medida em Coulomb (C) e r em metros

Tanto a força elétrica como a gravitacional obedecem a lei do inverso do quadrado da distância, mas a força elétrica entre prótons, entre elétrons e entre prótons e elétrons é muito maior do que a gravitacional.

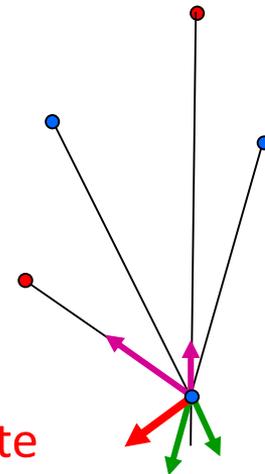
A razão entre a força elétrica e gravitacional que atuam entre dois prótons é da ordem de 10^{36} !

Força elétrica

Características do força de Coulomb

- 1) A força pode ser de atração ou repulsão;
- 2) A força entre duas cargas está na linha que as une;
- 3) A força que duas ou mais carga exercem sobre uma carga q é a soma vetorial das forças que cada uma das cargas exerceria sobre q se não existissem as outras (Princípio da Superposição).
- 4) Vale a lei da ação e reação entre duas cargas

Força resultante



Cargas elétricas

https://www.youtube.com/watch?v=T41VKdFa3eU&list=PL1Dg4Oxxk_RKMZdv6OPGdj6FQ-S5c8F3W&index=6

Lei de Coulomb

https://www.youtube.com/watch?v=3vGdQSo2LuQ&list=PL1Dg4Oxxk_RKMZdv6OPGdj6FQ-S5c8F3W&index=7

Campo elétrico

Força elétrica existe sem contato dos corpos

Carga elétrica exerce um campo elétrico em torno dela mesma

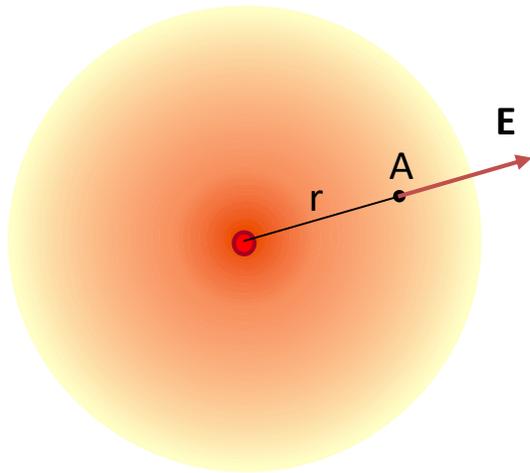
-> Força resultante é proporcional à carga elétrica

$$E = \frac{F}{q_1} = k \frac{q_2}{r^2}$$

Campo elétrico

Qualquer carga ou distribuição de cargas tem um campo elétrico em seu entorno. Por definição, a intensidade de campo elétrico num ponto A a uma distância r de uma carga Q é dado por:

$$\mathbf{E} = \mathbf{F}/q,$$



onde \mathbf{F} é a força (um vetor, portanto) que atua numa carga q colocada em A. Pela definição, a intensidade de campo elétrica é um vetor que tem a mesma direção da força \mathbf{F} que atuaria numa carga positiva colocada em A.

Campo elétrico

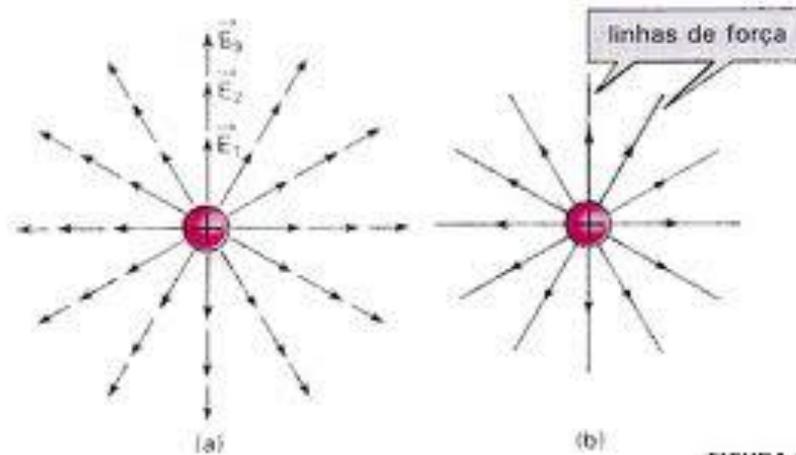
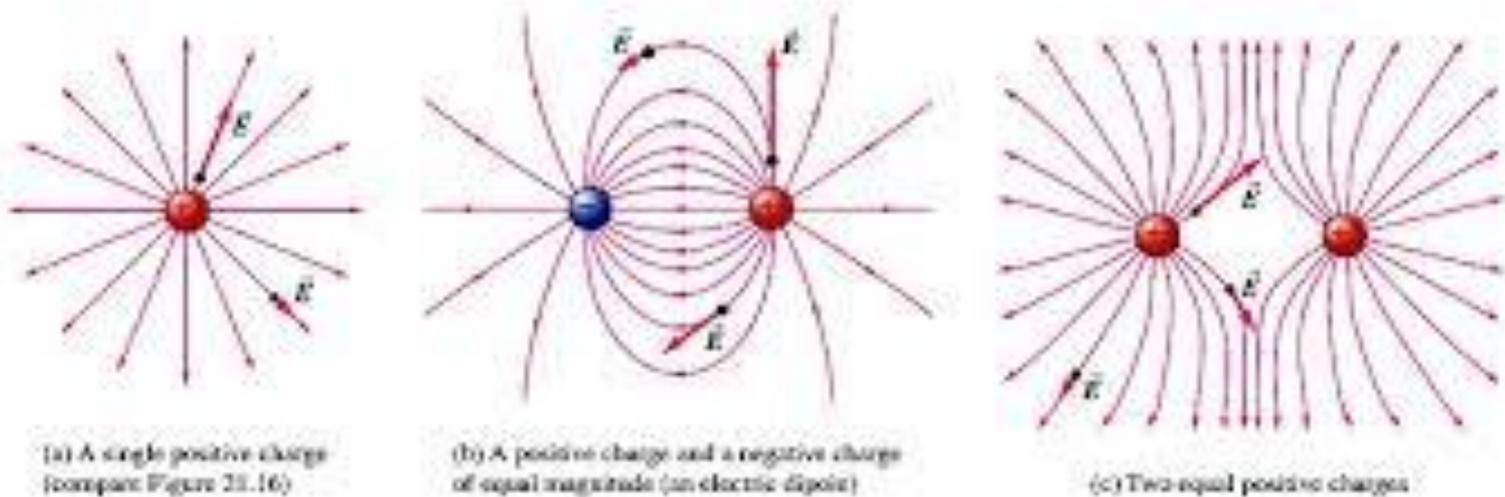
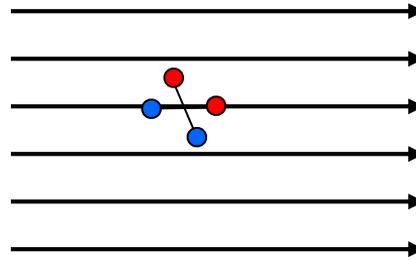


FIGURA 8



Campo elétrico



E igual em todos os pontos

Dipolos elétricos

<https://www.youtube.com/watch?v=kRoYdzPRiV8>

Campo elétrico

https://www.youtube.com/watch?v=XhhZ2zRN4Lo&list=PL1Dg4Oxxk_RKMZdv6OPGdj6FQ-S5c8F3W&index=15

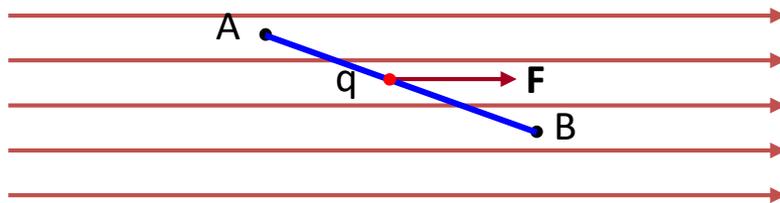
Trabalho da força elétrica em campo uniforme

Diferença de potencial elétrico (ddp)

$$U = V \cdot q$$

$$V_A - V_B = V_{AB} = \frac{W_{AB}}{q}$$

onde W_{AB} é o trabalho realizado pela força elétrica para deslocar a carga q



$$V_A > V_B$$

No caso de força constante: $W = F \cdot d \cos\theta$

Mas $F = qE$ ↓ $W = qE \cdot d \cos\theta$

$$W_{AB} = qV_{AB} = \Delta E_c = (1/2)mv_f^2 - (1/2)mv_i^2$$

Exemplo

Uma célula muscular no coração tem, tipicamente, uma diferença de potencial de 90mV entre o lado interno e o lado externo da membrana celular. Para funcionar, a célula precisa “bombear” ions de um lado da membrana para o outro lado.

Quanta energia é necessária para se bombear um único ion de Na^+ do lado externo da membrana celular para o lado interno se o lado externo da célula é negativamente carregado em relação ao lado interno?

$$\begin{aligned}\Delta U &= q\Delta V = 1,6 \times 10^{-19} \text{C} \cdot 90 \times 10^{-3} \text{V} \\ &= 1,44 \times 10^{-20} \text{J}\end{aligned}$$



Exemplo



Uma célula muscular no coração tem, tipicamente, uma diferença de potencial de 90mV entre o lado interno e o lado externo da membrana celular. Para funcionar, a célula precisa “bombear” ions de um lado da membrana para o outro lado.



Lembra daquele ovo de chocolate da Páscoa? Pois bem, ele libera cerca de 1000kJ de energia no corpo depois de metabolizado. Quantos íons de Na^+ podem ser transportados pelas células do Coração com esta energia?

$$\Delta U = 1,44 \times 10^{-20} \text{ J}$$

- (a) $6,9 \times 10^{25}$ ions de Na^+
- (b) $1,4 \times 10^{-26}$ ions de Na^+
- (c) $6,9 \times 10^{22}$ ions de Na^+
- (d) $1,4 \times 10^{25}$ ions de Na^+



Exemplo

Uma célula muscular no coração tem, tipicamente, uma diferença de potencial de 90mV entre o lado interno e o lado externo da membrana celular. Para funcionar, a célula precisa “bombear” ions de um lado da membrana para o outro lado.



Lembra daquele ovo de chocolate da Páscoa? Pois bem, ele libera cerca de 1000kJ de energia no corpo depois de metabolizado. Quantos íons de Na^+ podem ser transportados pelas células do Coração com esta energia?

$$\frac{1000 \times 10^3 J}{1,44 \times 10^{-20} J} = 6,9 \times 10^{25} \text{ ions de } \text{Na}^+$$



Aplicação - Eletroforese

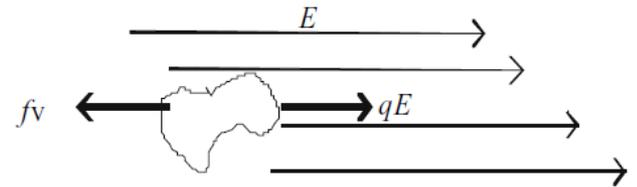
É a migração forçada de partículas carregadas, usualmente macromoléculas, em um campo elétrico.

$$\vec{F} = q\vec{E}$$

Partícula é acelerada

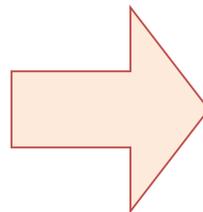
Se há colisões das moléculas com o solvente

$$\vec{F} = q\vec{E} - f\vec{v}$$



No equilíbrio (velocidade constante)

$$\vec{F} = q\vec{E} - f\vec{v} = 0$$



$$\vec{v} = \frac{q\vec{E}}{f}$$

Aplicação - Eletroforese

Mobilidade eletroforética (M)– Característica de cada molécula, depende de sua carga elétrica, massa molecular e propriedade friccionalis.

$$M = \frac{v}{E} = \frac{q}{f}$$

Medida da mobilidade da molécula

Propriedade intrínseca da macromolécula
Depende somente:
→ carga da macromolécula
→ propriedades friccionalis

Aplicação - Eletroforese

Eletroforese

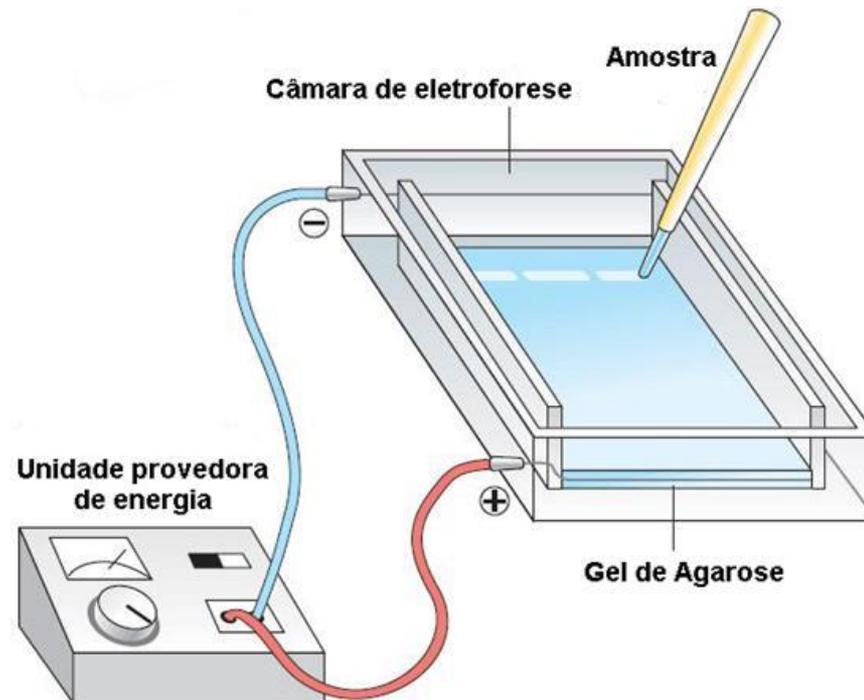
- Técnica de separação para moléculas suspensas num solvente
- Método para análise de DNA, proteínas e enzimas
- Identificação de fungos, bactérias, enzimas
- Determinação do peso molecular de macromoléculas (exatidão de 5%)

$$\vec{F} = q\vec{E} - f\vec{v}$$

no equilíbrio

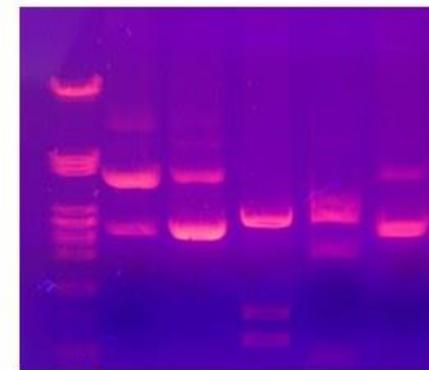
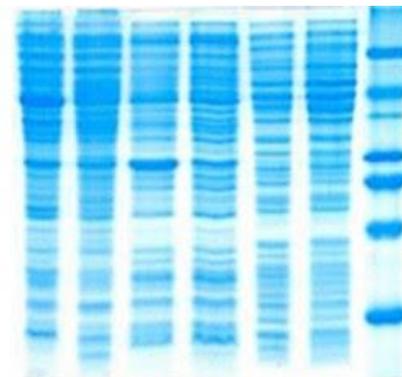
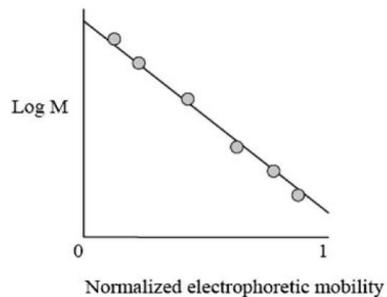
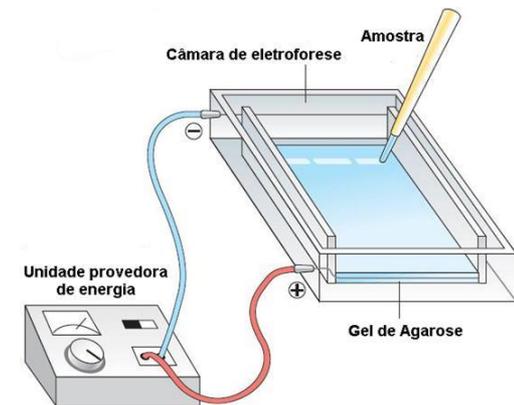
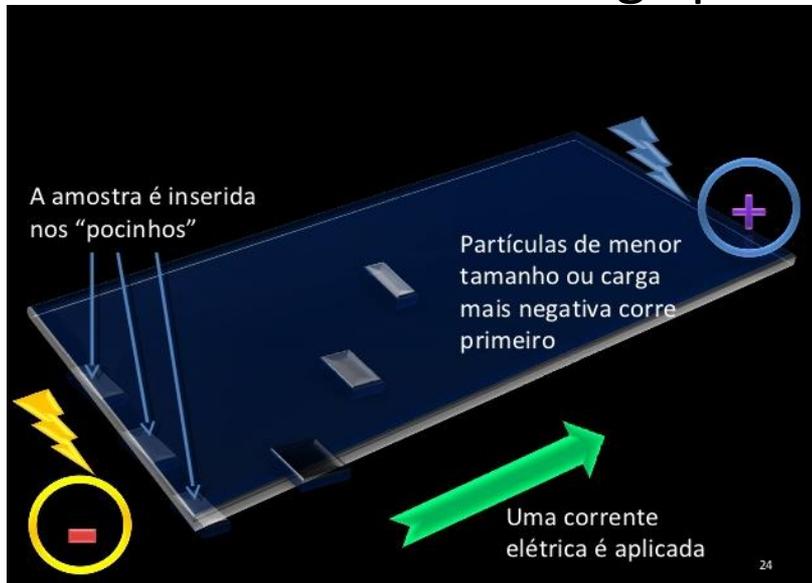
$$\vec{F} = 0$$

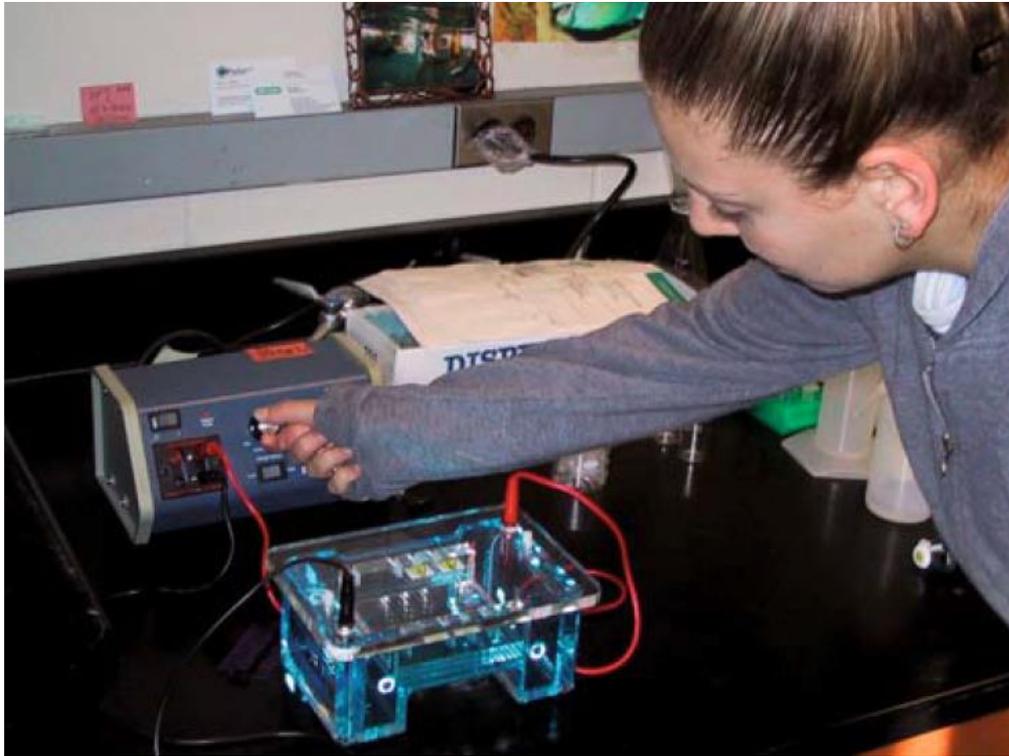
$$\vec{v} = \frac{q\vec{E}}{f}$$



Aplicação - Eletroforese

- Campo elétrico é aplicado
- Moléculas com carga negativa migram para o ânodo
- Moléculas com carga positiva migram para o cátodo





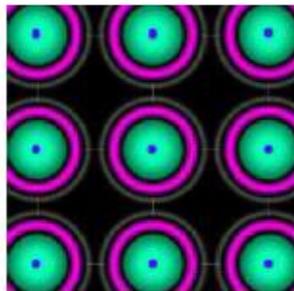
Fonte: Newman, J. – Physics of the Life Sciences

VIDEO

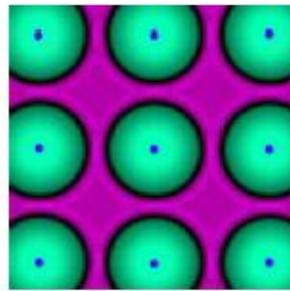
Condutores e Isolantes (dielétricos)

Propriedades elétricas dos materiais baseada em sua estrutura eletrônica
Preenchimento da camada de valência

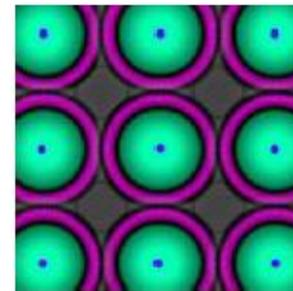
Materiais como o cobre (metais) são chamados *condutores*, onde o excesso de carga concentra-se apenas numa determinada região, ao contrário dos *isolantes*, onde as cargas têm baixa mobilidade. Metais, soluções e corpo humano são exemplos de *condutores*. Vidro, papel, borracha, plásticos e água destilada são exemplos de *isolantes*.



↑
isolantes



↑
condutores



↑
semicondutores

Condutores e isolantes 1

https://www.youtube.com/watch?v=LPMdhbEvgnA&list=PL1Dg4Oxxk_RKMZdv6OPGdj6FQ-S5c8F3W&index=22

Condutores e isolantes 2

https://www.youtube.com/watch?v=1qTo6nvpAoQ&list=PL1Dg4Oxxk_RKMZdv6OPGdj6FQ-S5c8F3W&index=20

Capacitores

Campo elétrico:

Unidade: V/m

$$E = \frac{V}{d} = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{Q/A}{\epsilon}$$

Densidade superficial de cargas

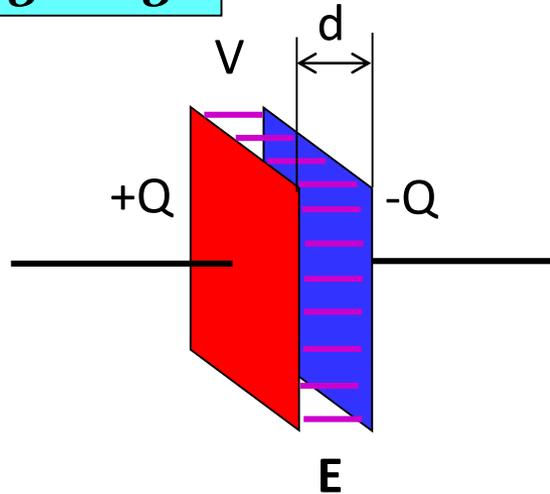
Capacitância:

Unidade: Farad (F)

$$C = \frac{Q}{V}$$

Energia armazenada:

$$U = \frac{1}{2} CV^2$$



Pode-se mostrar que num capacitor plano, infinito e de placas paralelas:

$$C = \epsilon \frac{A}{d}$$

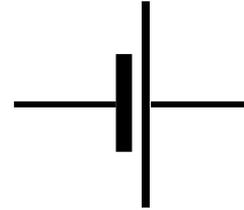
área

Distância entre as placas



Circuitos elétricos

Gerador: Transforma algum tipo de energia em energia elétrica (dínamo, pilha, célula solar etc).



símbolo

Corrente elétrica:

$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

A unidade de corrente elétrica é o Ampère (A)

Circuitos elétricos

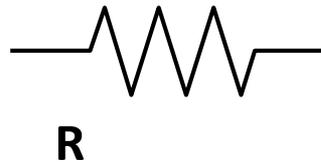
Resistência elétrica: Razão entre tensão e a corrente num condutor.

Lei de Ohm: Num condutor é constante a razão V/I , isto é a resistência não varia com a corrente (a unidade é o Ohm)

$$R = \frac{V}{I}$$

Resistor: Elemento passivo que transforma energia elétrica em calor através de sua resistência.

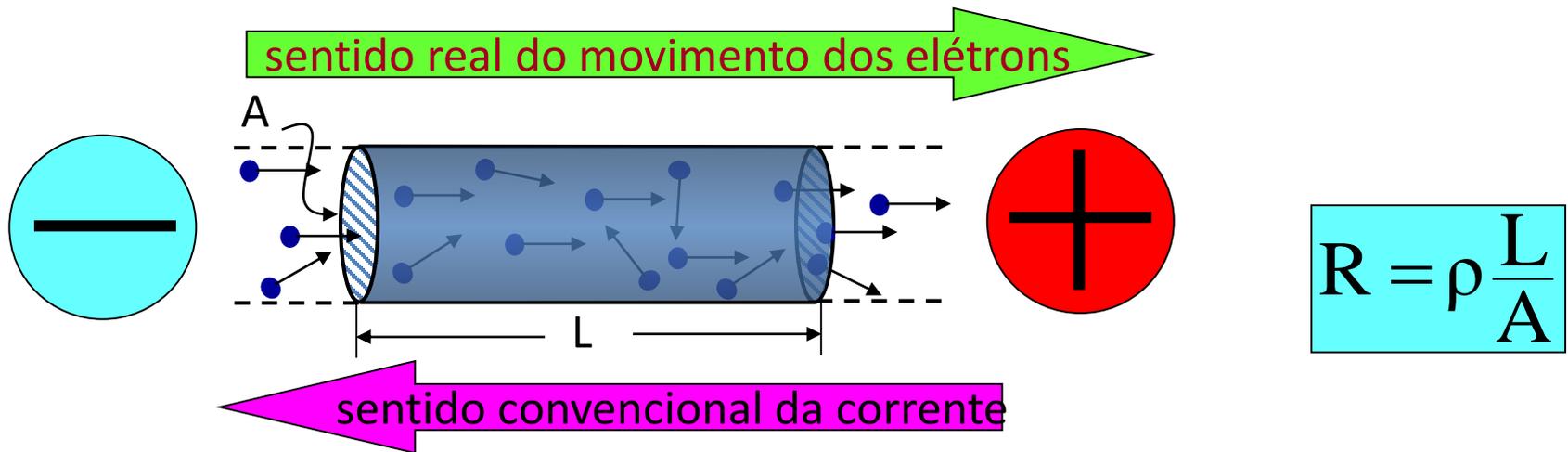
Símbolo:



Circuitos elétricos

Variação da resistência elétrica com as dimensões do condutor

- Elétrons



R é a resistência do condutor de comprimento L e seção de área A . A resistividade ρ é uma característica do material e é medida em $\Omega\cdot\text{m}$ ou $\Omega\cdot\text{cm}$. O inverso da resistividade é a condutividade, medida em $\Omega^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$

Table 16.1 Resistivities of Various Materials (20°C)

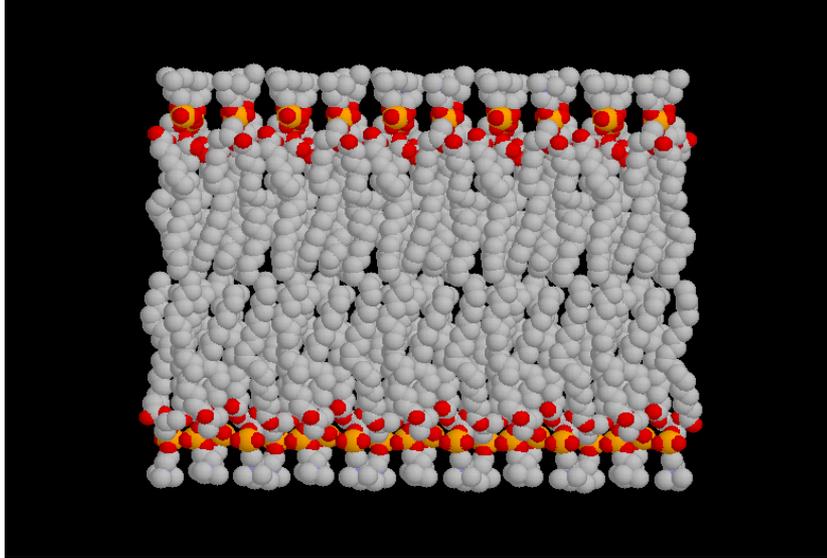
<i>Material</i>	<i>Resistivity, ρ ($\Omega \cdot m$)</i>
Conductors	
Aluminum	2.8×10^{-8}
Copper	1.7×10^{-8}
Iron	$10. \times 10^{-8}$
Mercury	$96. \times 10^{-8}$
Silver	1.6×10^{-8}
Tungsten	5.6×10^{-8}
Ionic materials	
Water (distilled)	$\sim 2 \times 10^5$
Fresh water	$\sim 5 \times 10^2$
Sea water	~ 0.3
Cytoplasm	~ 0.5
Fatty tissue	~ 15
Semiconductors	
Germanium	~ 0.5
Silicon	$\sim 2. \times 10^3$
Insulators	
Air (dry)	4×10^{13}
Glass	$10^{10} - 10^{14}$
Rubber	$10^{13} - 10^{16}$

Fonte: Newman, J. – Physics of the Life Sciences

Capacitor e Membrana

Membranas lipídicas – modelada como duas camadas de um material condutor (camadas lipídicas) separadas por uma camada de material dielétrico (linha hidrocarbono).

Membranas lipídicas – pode ser tratada como um capacitor



Bioeletricidade - Membrana

Bicamada lipídica

- Comporta-se como uma barreira para separar um ambiente intracelular de íons e macromoléculas do fluido extracelular
- Ocupam cerca de 70% do volume da membrana e mais de 90% de sua superfície

Dentro e fora da célula há concentrações diferentes de íons

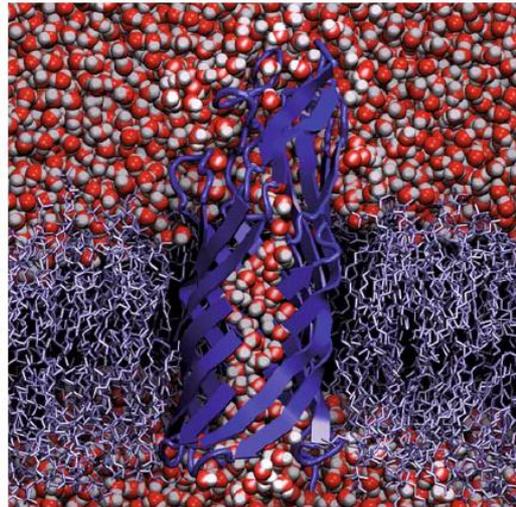
dentro = negativo \Leftrightarrow fora = positivo

-> diferença de potencial elétrico -> potencial de repouso

Canais na Membrana

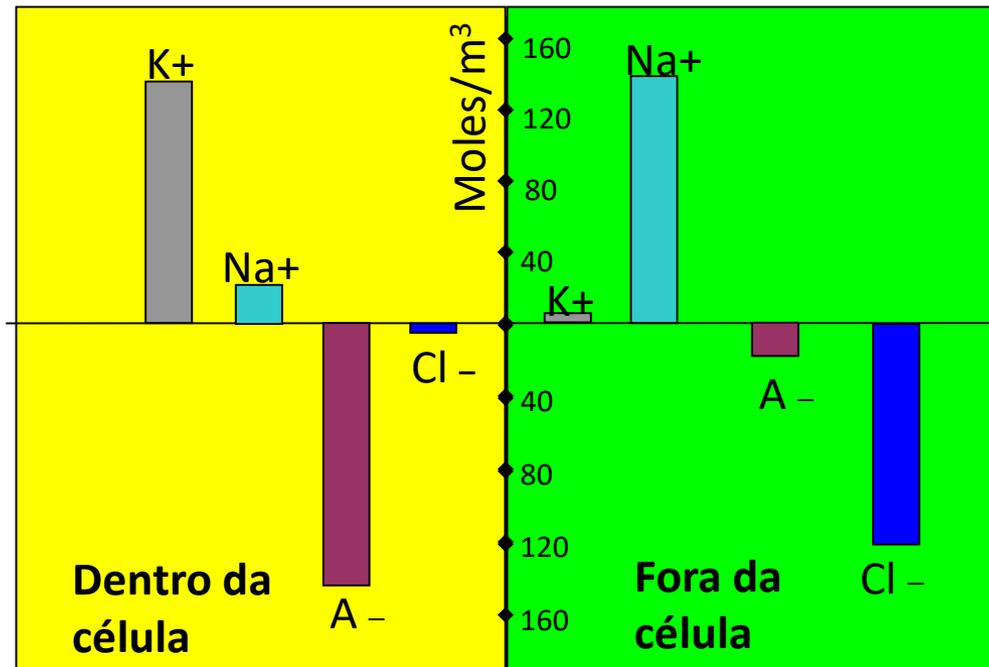
Uma parte específica da membrana que atua como poros usados para transportar íons, água, ou até macromoléculas através da membrana biológica

Tem uma função importante em células excitáveis (neurônios e células musculares), controlando o fluxo de íons e a geração de sinal elétrico



Bioeletricidade

Devido às diferentes concentrações, os íons K^+ e Cl^- difundem-se através da membrana

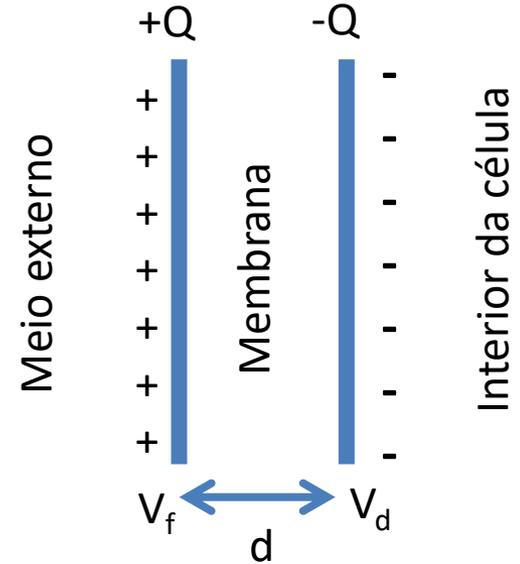


Membrana é normalmente permeável aos íons K^+ e Cl^-

Devido às diferentes concentrações, os íons K^+ e Cl^- difundem-se através da membrana

Potencial de repouso e densidade superficial de cargas

- Potencial de repouso
 - Difusão de íons pela membrana semipermeável
- Densidade superficial de cargas
 - Para um capacitor plano:



$$C = \epsilon \frac{A}{d} \Rightarrow \frac{C}{A} = \frac{\epsilon}{d}$$

$$V = V_d - V_f < 0$$

$$C = \frac{Q}{V} \Rightarrow \frac{C}{A} = \frac{Q}{V \cdot A} \Rightarrow \frac{Q}{A} = \frac{C}{A} V$$

$$\sigma = \frac{Q}{A} = \frac{C}{A} V = \frac{\epsilon}{d} V$$

E o campo elétrico fica:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{1}{\epsilon} \frac{Q}{A}$$



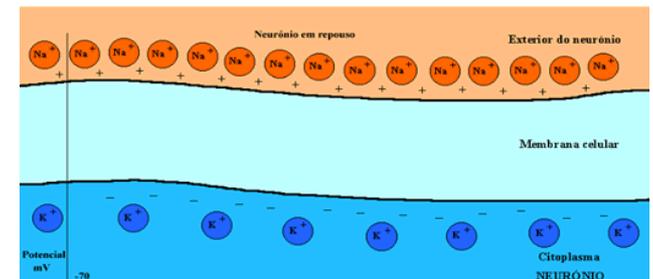
Valores típicos do potencial de repouso

- Fibras nervosas e músculos estriados

$$-100\text{mV} < V_0 < -55\text{mV}$$

- Fibras dos músculos lisos

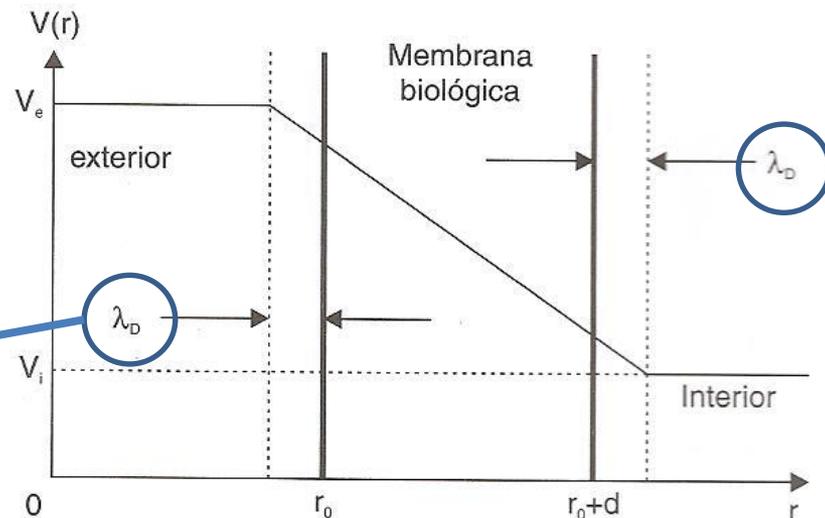
$$-55\text{mV} < V_0 < -30\text{mV}$$



Fonte: <http://www.sobiologia.com.br/>

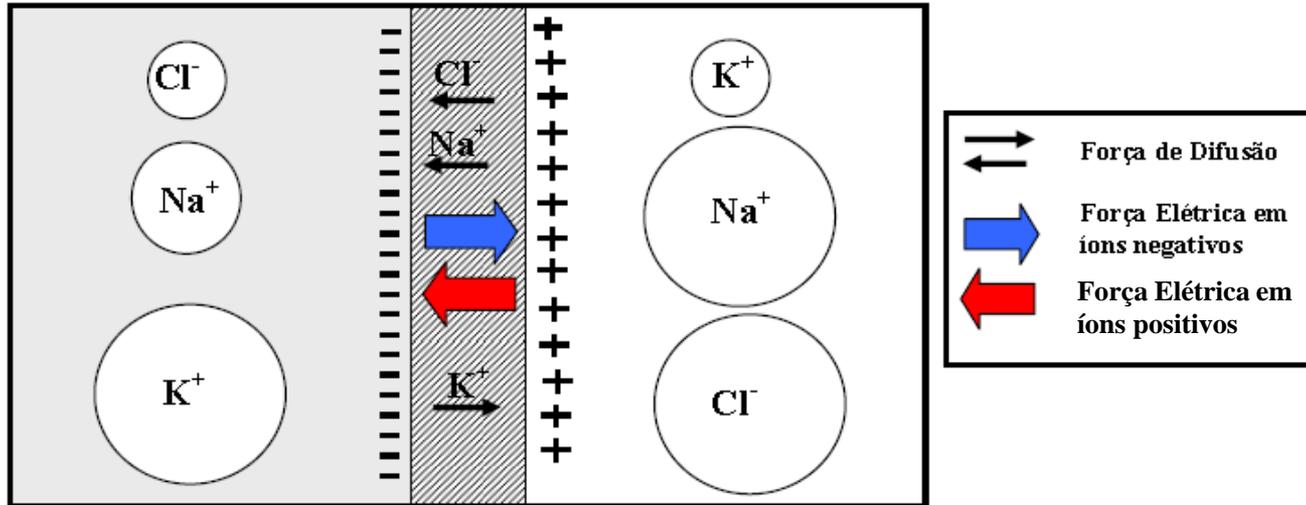
Espessura de Debye

Camada onde se acumula o excesso de cargas + e -



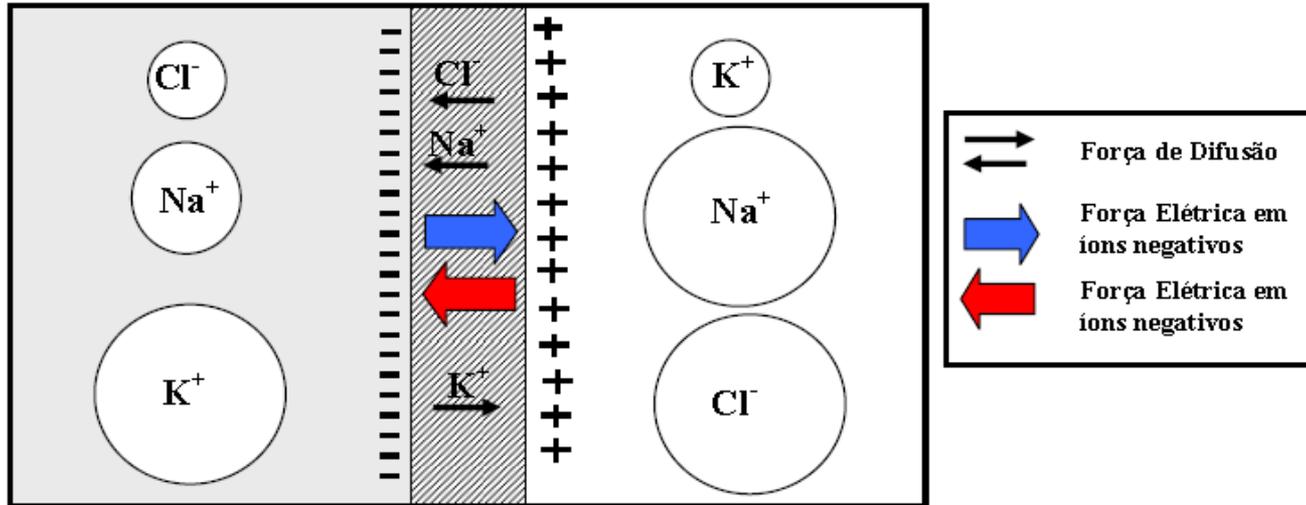
Fonte : Duran, J.E.R – Biofísica – fundamentos e aplicações

Bioeletricidade



- Íons de K^+ e Cl^- difundem-se em direções opostas
 - Formação de uma camada carregada na vizinhança da membrana
 - K^+ e Cl^- atraem-se, criando um campo elétrico
- Difusão prosseguiria até atingir o equilíbrio
- Íons de K^+ e Cl^- tem cargas opostas e a difusão é parada pela força repulsiva ou atrativa de Coulomb
 - Ions tendem à voltar para a região de maior concentração
 - Força elétrica = Força de difusão \Leftrightarrow Estado de equilíbrio atingido

Bioeletricidade



- Potencial de repouso tem grande influência sobre as características da membrana
- Se o potencial é invertido => permeabilidade do Na^+ aumenta 1000 vezes
- Mudanças de permeabilidade => Transmissão de sinais elétricos

Bioeletricidade

- Potencial de Nernst-Planck



$$\Delta V_N = V_d - V_f = \frac{-k_B T}{Ze} \ln \left[\frac{C_d}{C_f} \right] = -2,30 \frac{k_B T}{Ze} \log \left[\frac{C_d}{C_f} \right]$$

Onde $k_B = 1,4 \times 10^{-23}$ J/K é a constante de Boltzmann e Z é a valência do íon

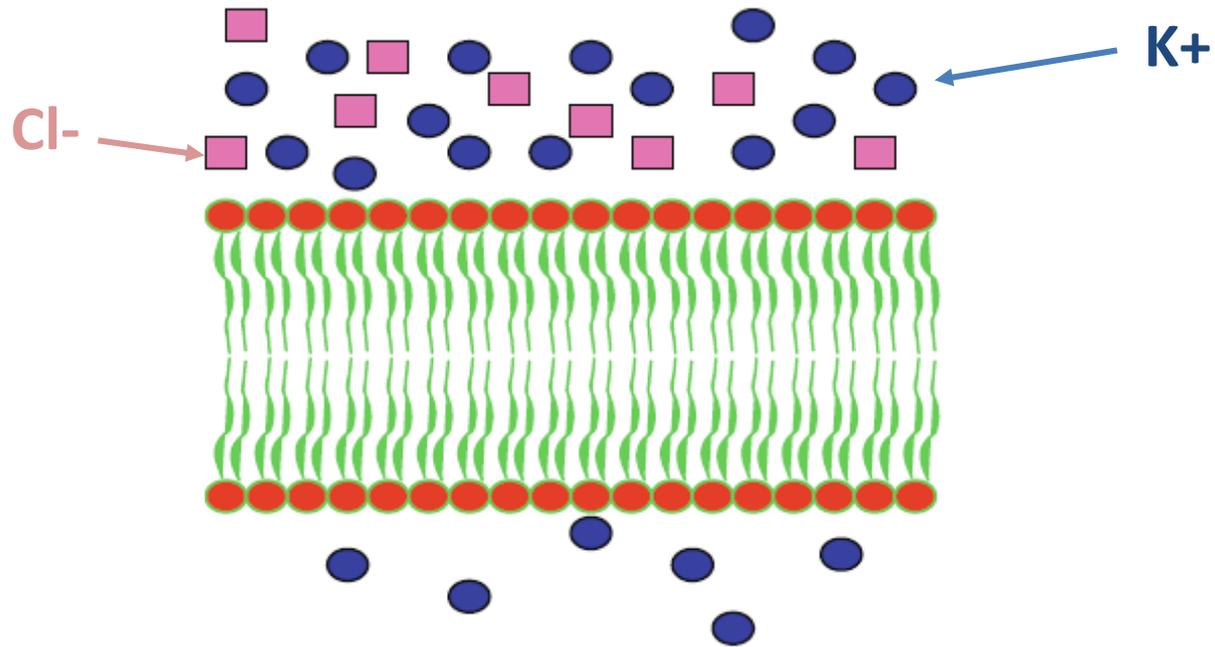


Table 16.2 Typical Ion Concentrations and Nernst Potentials (Mammalian Skeletal Muscle)

<i>Ion</i>	<i>Typical Internal Concentration (mM)*</i>	<i>Typical External Concentration (mM)</i>	<i>Nernst Potential (mV)</i>
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.

Tabela 21.2 – Concentrações iônicas fora $C(1)$ e dentro $C(2)$ das células musculares de rã, razão entre essas concentrações, os respectivos potenciais de Nernst calculados e o potencial de repouso observado.

Íon	$C(1)$ (10^{-3} mol/l)	$C(2)$ (10^{-3} mol/l)	$C(2)/C(1)$	V_i^N (mV)
K^+	2,25	124	55	-99,8
Na^+	109	10,4	0,095	+58,6
Ca^{++}	2,1	4,9	2,3	-10,4
Mg^{++}	1,25	14,0	11,2	-30,1
Cl^-	77,5	1,5	0,019	-98,7
HCO_3^-	26,6	12,4	0,47	-18,8
Íons orgânicos	13	74	—	—

$V_0 \cong -98$ mV

Tabela 21.3 – Concentrações iônicas fora $C(1)$ e dentro $C(2)$ das células nervosas da lula, razão entre essas concentrações, os respectivos potenciais de Nernst calculados e o potencial de repouso observado.

Ion	$C(1)$ (10^{-3} mol/l)	$C(2)$ (10^{-3} mol/l)	$C(2)/C(1)$	V_i^N (mV)
K^+	20	400	20	-75
Na^+	440	50	0,113	+54
Ca^{++}	10	0,4	0,04	+40
Mg^{++}	54	10	0,185	+21
Cl^-	500	40 a 150	0,08 a 0,30	-30 a -63
Íons orgânicos	—	360	—	—

$V_0 \cong -70$ mV

Equilíbrio de Donnan

- Equilíbrio entre as concentrações internas e externas de cátions e ânions e o potencial de repouso
- Modelo de Donnan
 - Membrana como uma barreira porosa
 - Alguns íons monovalentes podem se mover
 - Fluxo de cada íon permeável corresponde a uma corrente elétrica

Equilíbrio de Donnan

- A membrana celular não é completamente impermeável
 - Permite a passagem de alguns ions
 - Mais permeável para ions monovalentes inorgânicos pequenos
 - Pouco permeável a ions multivalentes
 - Impermeável para ions orgânicos complexos
 - Permeável para ions K^+ e Cl^-
 - Menos permeável para ions Na^+
 - No equilíbrio
 - Potencial de Donnan para todos os ions permeáveis

$$V_N = V_D$$

Bomba de Sódio-Potássio

-Para manter o potencial elétrico da célula, esta precisa de uma **baixa concentração de ions de sódio** e de uma **elevada concentração de ions de potássio**, dentro da célula.

- **Fora das células** existe uma **alta concentração de sódio** e uma **baixa concentração de potássio**, pois existe difusão destes componentes através de canais iônicos existentes na membrana celular.

-**Bomba de sódio-potássio**: É um mecanismo da membrana plasmática de quase todas as células que transporta **sódio para fora** da célula e **potássio para dentro** (contra gradiente de potencial), através de um potencial de ação.

-**Transporte ativo**: Transporte de Na^+ e K^+ através da enzima ATPase, que hidrolisa a molécula de ATP, gerando a energia necessária para o transporte dos íons

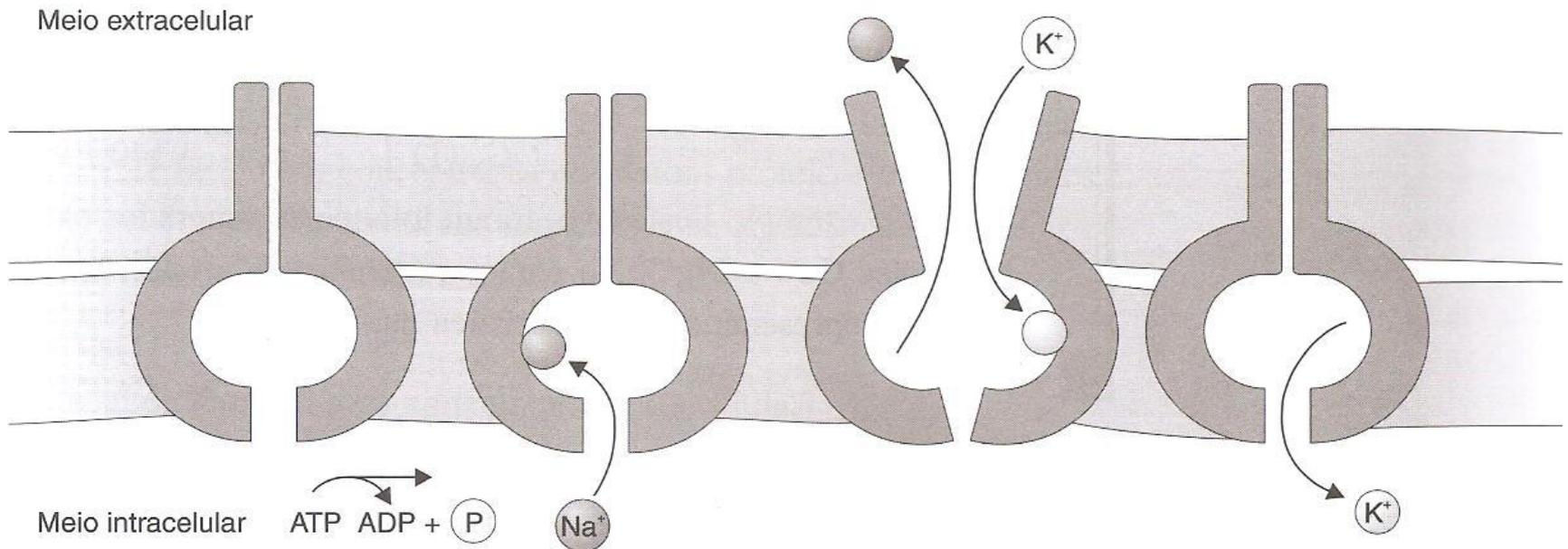
-**Transporte de Cl^-** : membrana é muito permeável aos íons de Cl^- , de forma que eles movem-se pela força Coulombiana durante os processos de polarização e despolarização.

Transporte ativo de íons: bomba de sódio-potássio

- Transporte ativo
 - Mediado por proteínas carregadoras
 - Acoplado a uma fonte de energia metabólica
 - Íons K^+ e Na^+ através da proteína sódio-potássio-trifosfatase (bomba de sódio-potássio)
 - Íons de Ca^{++} através do retículo sarcoplasmático (bomba de cálcio)
 - Nutrientes orgânicos como aminoácidos e glicose para o interior da célula

Bomba de Sódio-potássio

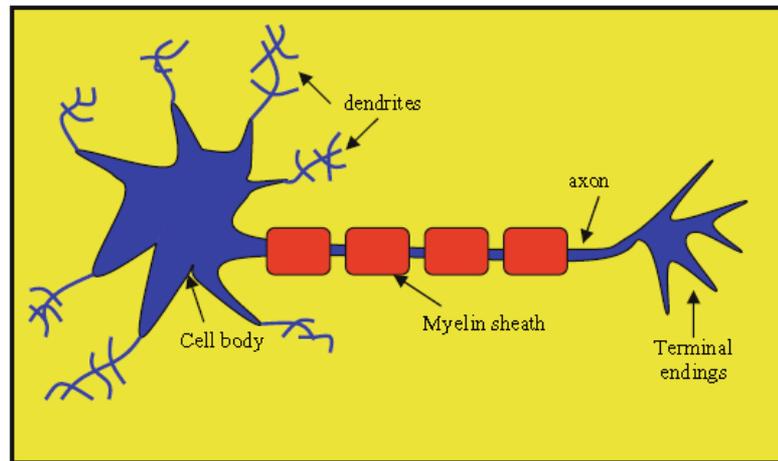
https://www.youtube.com/watch?v=zclbRw_S3JI



Fonte : Duran, J.E.R – Biofísica – fundamentos e aplicações

Neurônios

- Possuem a habilidade de transmitir sinais bioelétricos
 - Sinal elétrico consiste numa reversão temporária no potencial da membrana
 - Potencial reverso inicia numa localização da célula e propaga-se
 - Despolarização e repolarização



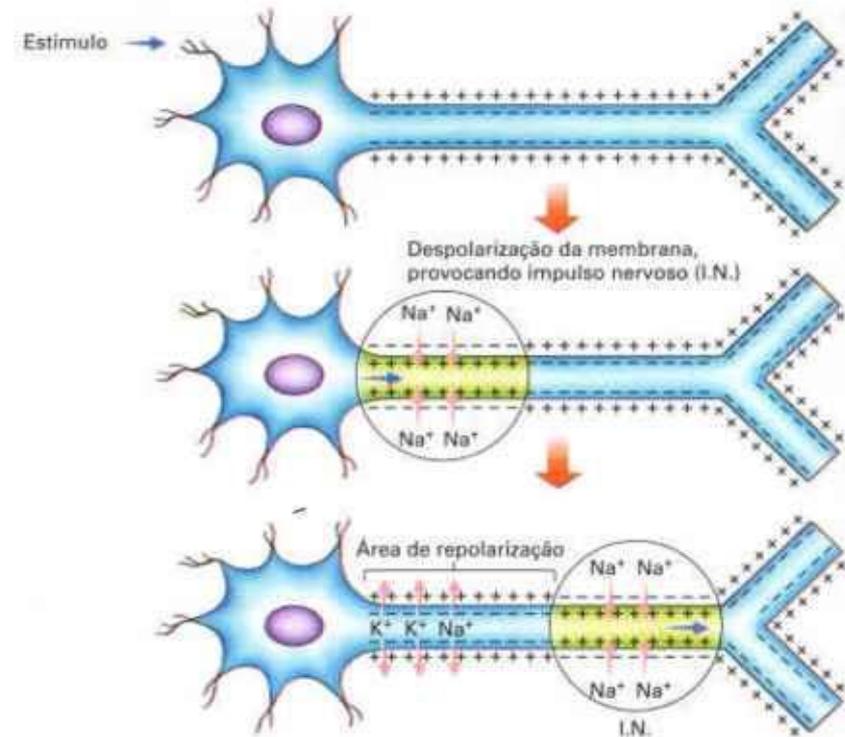
- **Axônio** – leva sinais do corpo celular para os músculos, glândulas e ou outros neurônios
- **Dendritos** – Prolongamentos delgados que recebem estímulo e os transmitem ao corpo celular

Neurônios

- **Estímulos:** temperatura, pressão, corrente elétrica e estímulo químico (sinapse)

- Permeabilidade do Na^+ aumenta em torno de 1000 vezes (Maior que do K^+)
- Difusão do Na^+ faz com que o interior se torne positivo e o potencial inverte
- Despolarização altera a estrutura da membrana que volta ao estado normal (fluxo de Na^+ cessa)

- Pico de tensão criado com a despolarização e a repolarização = **potencial de ação** => transmitido pela membrana celular e estimulando regiões adjacentes



video

Neurônios

- Potencial de ação \Leftrightarrow Como é transmitido de uma região para outra?
 - Mudança de potencial durante uma despolarização afeta a permeabilidade da membrana nas regiões adjacentes
 - Regiões adjacentes estimulam células adicionais da membrana e potencial de ação propaga-se ao longo da célula
 - Propagação não limita-se à célula onde origina-se o impulso.
 - Neurônios transmitem estímulos para outros neurônios, glândulas, músculo e cérebro

Resumo de hoje

Lei de Coulomb

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

Campo elétrico

$$E = \frac{F}{q_1} = k \frac{q_2}{r^2}$$

Trabalho

$$W_{AB} = qV_{AB} = \Delta E_c = (1/2)mv_f^2 - (1/2)mv_i^2$$

Capacitores

$$E = \frac{V}{d} = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{Q/A}{\epsilon}$$

$$C = \frac{Q}{V}$$

$$C = \epsilon \frac{A}{d}$$

Placas paralelas

Potencial de Nernst-Planck

$$\Delta V_N = -2,30 \frac{kT}{Ze} \log \left[\frac{C_d}{C_f} \right]$$

Agora é a hora da diversão!!!

LISTAS DE EXERCÍCIOS



Não esqueçam de colocar os nomes de todos os integrantes do grupo presentes na aula

Lista de casa 6 e síntese 3 (esta aula) para 07/11