

Licenciatura em Biologia

Física para Biólogos

2019-2020

3- Electricidade e magnetismo

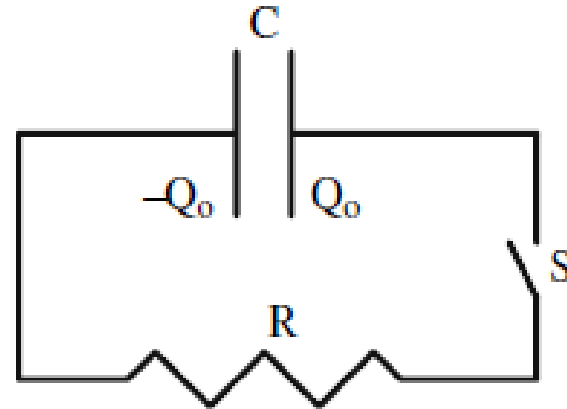
- Lei de Coulomb. Campo eléctrico. Potencial eléctrico.
- Dipolo eléctrico. Polarização. O condensador.
- Corrente eléctrica. Lei de Ohm.
- **Circuitos RC.**
- Transporte de iões em membranas carregadas e potencial de acção.
- Campos magnéticos. Força de Lorentz.
- Campo magnético produzido por uma corrente.
- Comportamento magnético dos materiais. Biomagnetismo.
- Ondas electromagnéticas.

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

3.4 Circuitos RC.

Resistências e condensadores podem combinar-se com fontes de tensão em circuitos eléctricos.

Associação de resistências e condensadores

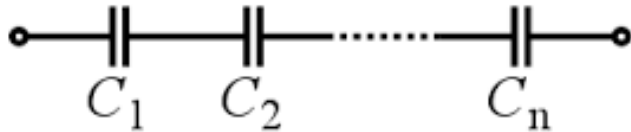


O circuito mais simples associa em série uma resistância e um condensador.

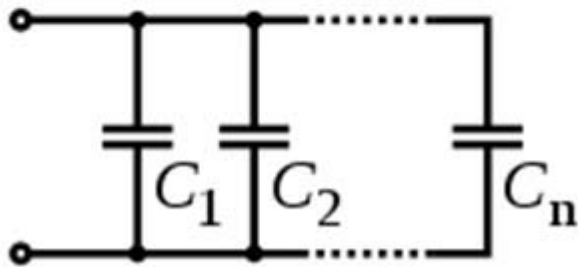
3.4 Circuitos RC.

A associação em série e em paralelo destes elementos obedece a regras simples.

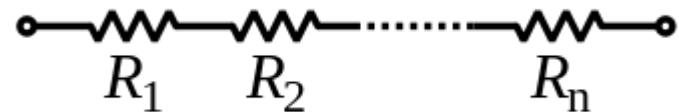
Associação de resistências e condensadores



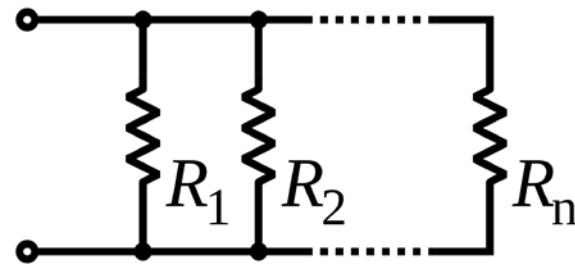
$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$



$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$



$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$



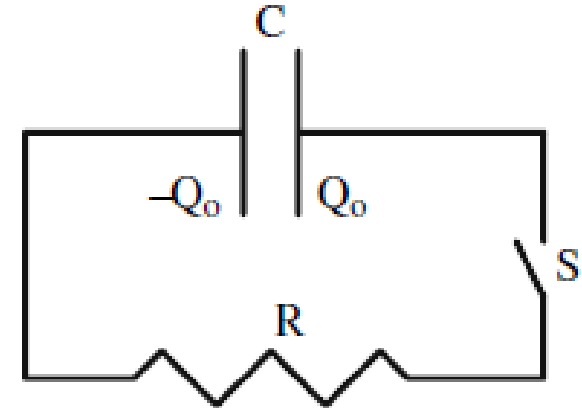
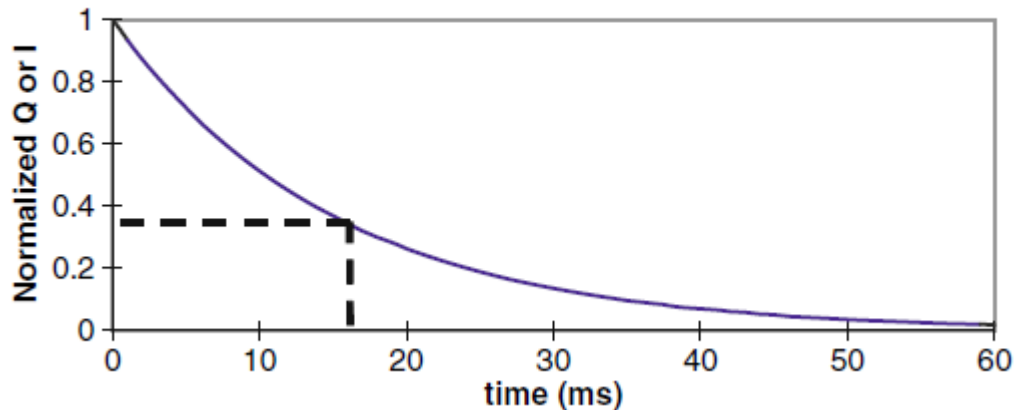
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

A lei de associação de resistências é a mesma que encontramos para a associação de resistências hidrodinâmicas.

3.4 Circuitos RC.

Na descarga de um condensador, corrente, carga e tensão decaem exponencialmente.

Carga e descarga de um condensador



$$I = \frac{\Delta V}{R} = \frac{Q}{RC} = -\frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

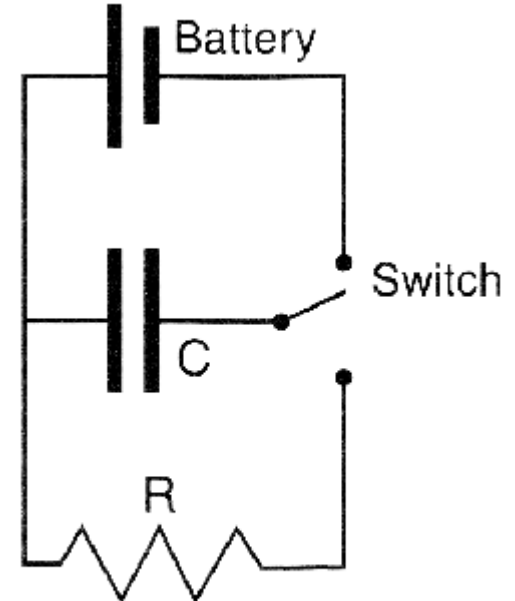
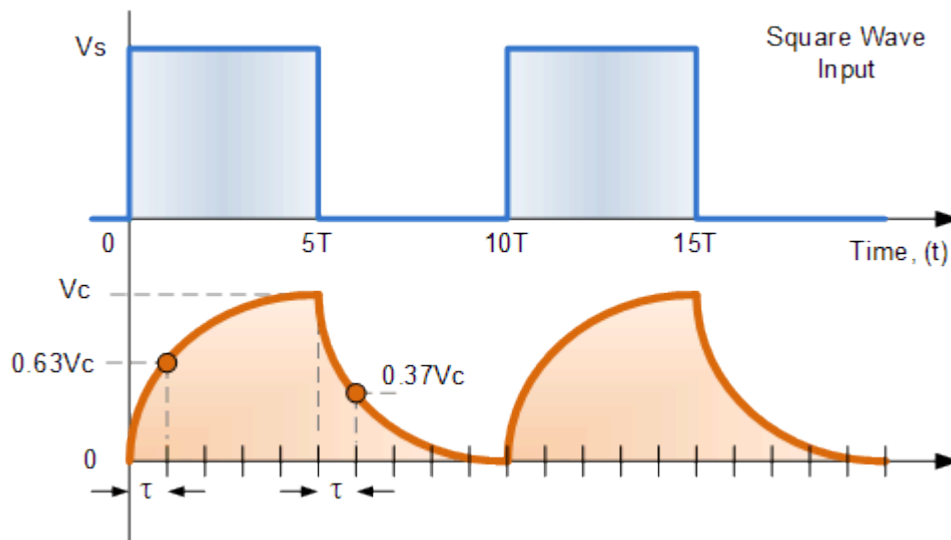
$$X = X_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

A constante de tempo do decaimento é igual a RC.

3.4 Circuitos RC.

Na carga de um condensador, corrente, carga e tensão aumentam exponencialmente.

Carga e descarga de um condensador



Ciclos de carga/descarga produzem uma curva característica, que depende de R , de C e da tensão da bateria.

Licenciatura em Biologia

Física para Biólogos

2019-2020

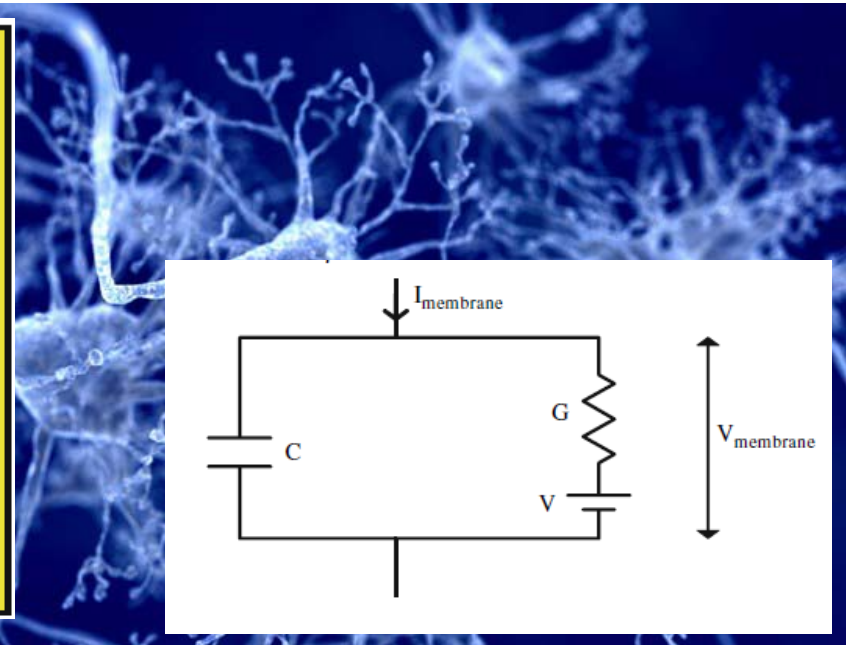
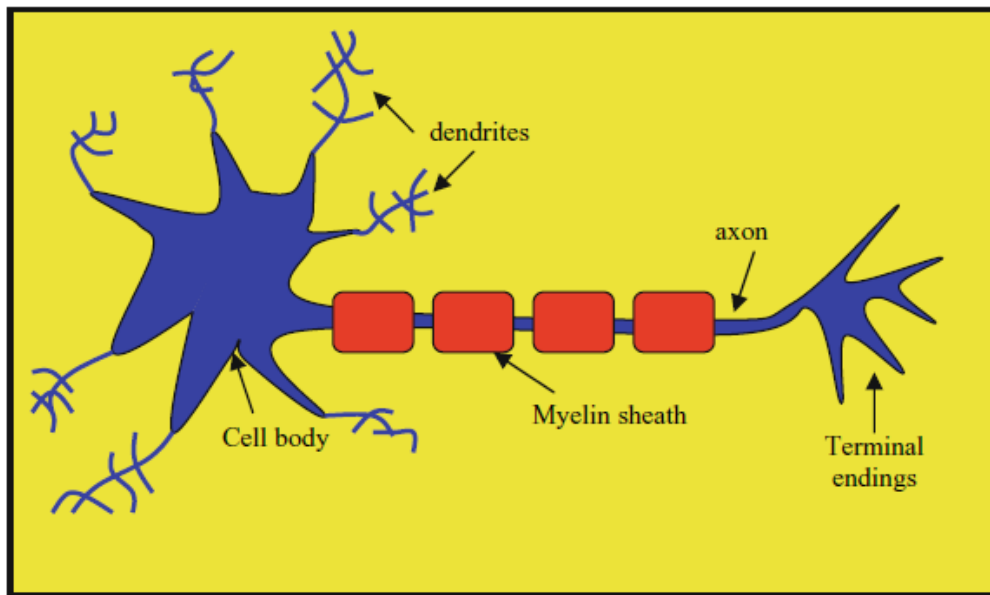
3- Electricidade e magnetismo

- Lei de Coulomb. Campo eléctrico. Potencial eléctrico.
- Dipolo eléctrico. Polarização. O condensador.
- Corrente eléctrica. Lei de Ohm.
- Circuitos RC.
- **Transporte de iões em membranas carregadas e potencial de acção.**
- Campos magnéticos. Força de Lorentz.
- Campo magnético produzido por uma corrente.
- Comportamento magnético dos materiais. Biomagnetismo.
- Ondas electromagnéticas.

3.5 Modelo eléctrico para a membrana do axónio.

As células nervosas funcionam como cabos de transmissão de sinais eléctricos.

Células nervosas

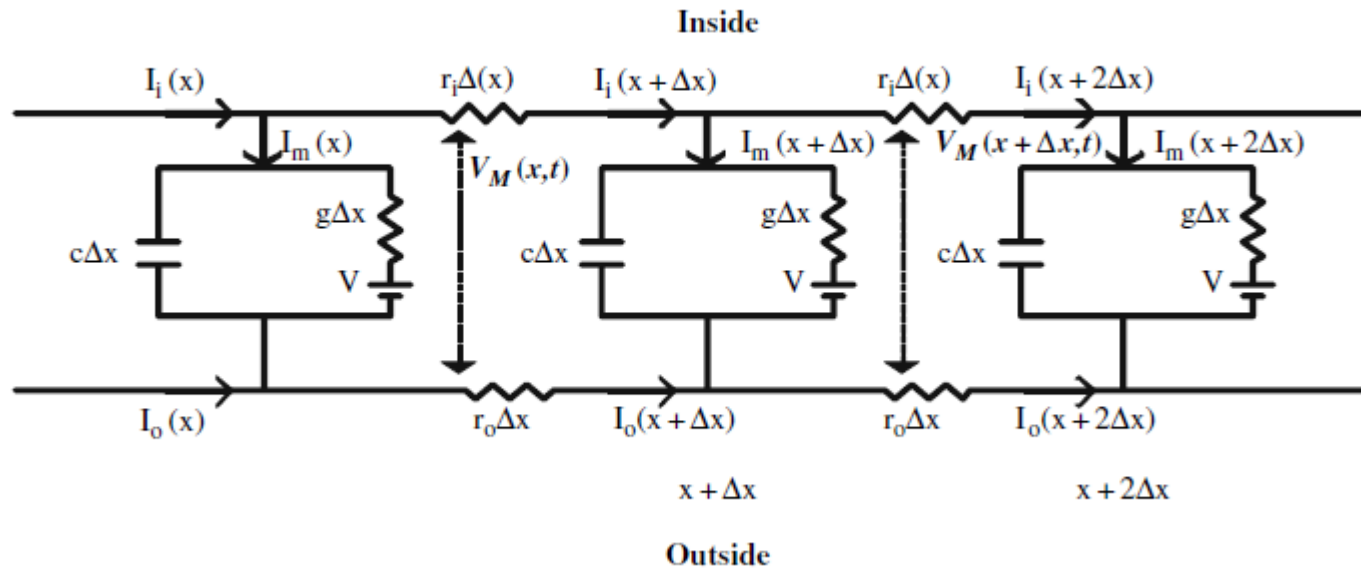


O modelo de Hodgkin e Huxley para o axónio é um dos prémios Nobel do século XX ligado à Biologia e à Física.

3.5 Modelo eléctrico para a membrana do axónio.

O modelo HH assenta na descrição da membrana como um circuito RC, com parâmetros que variam ao longo do axónio.

Modelo de cabo eléctrico

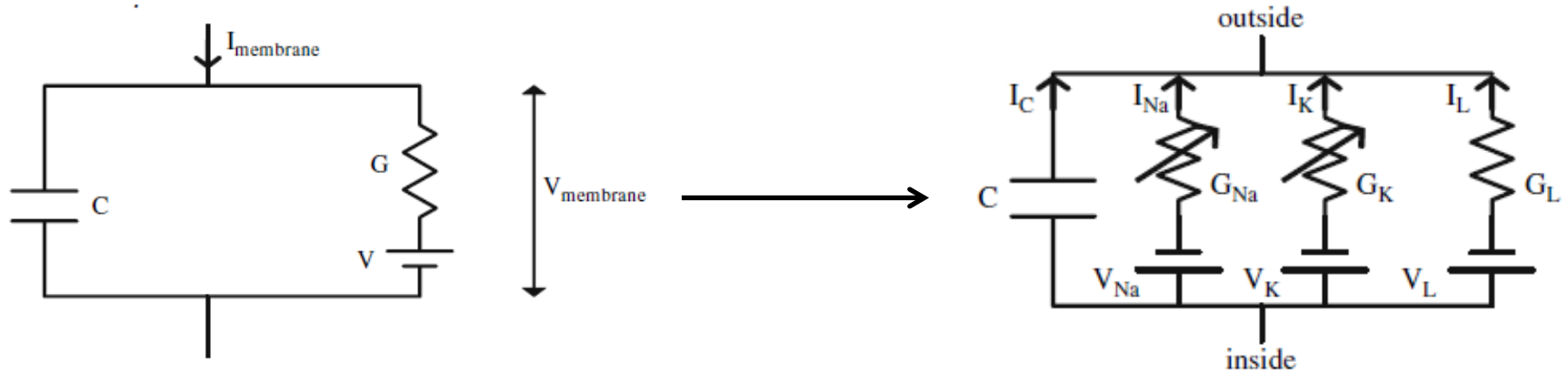


O trabalho experimental foi combinado com os resultados já conhecidos para a equação de propagação de um sinal ao longo de um cabo.

3.5 Modelo eléctrico para a membrana do axónio.

Na literatura relacionada é habitual representar em vez das resistências, R , as condutâncias, G , que são os seus inversos.

Modelo de cabo eléctrico

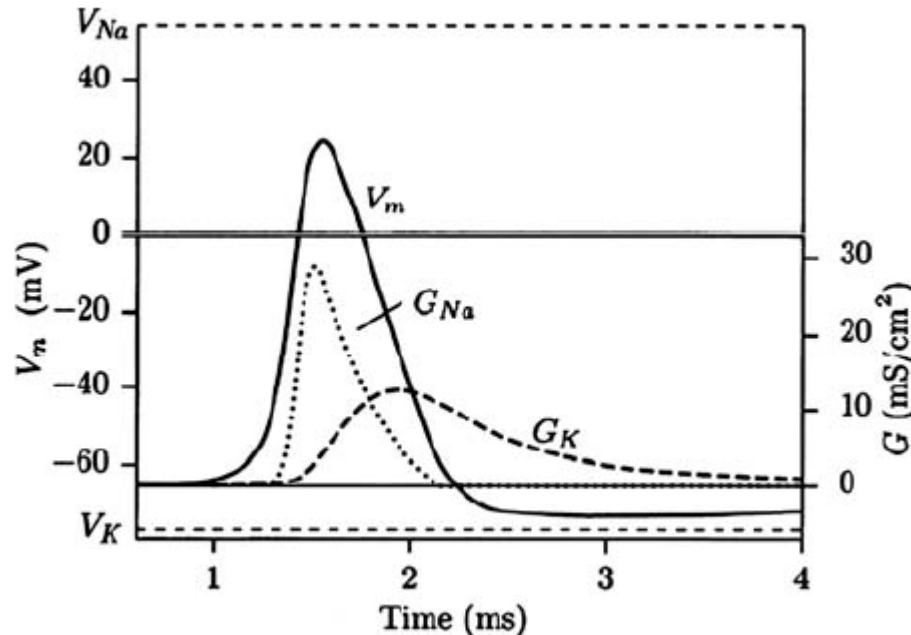


No modelo HH cada módulo tem explicitamente representados os canais de sódio e potássio, sob a forma de ramos paralelos do circuito de resistência variável.

3.5 Modelo eléctrico para a membrana do axónio.

Uma excitação é um ciclo de despolarização e repolarização num ponto da membrana.

Canais de iões e potencial de acção

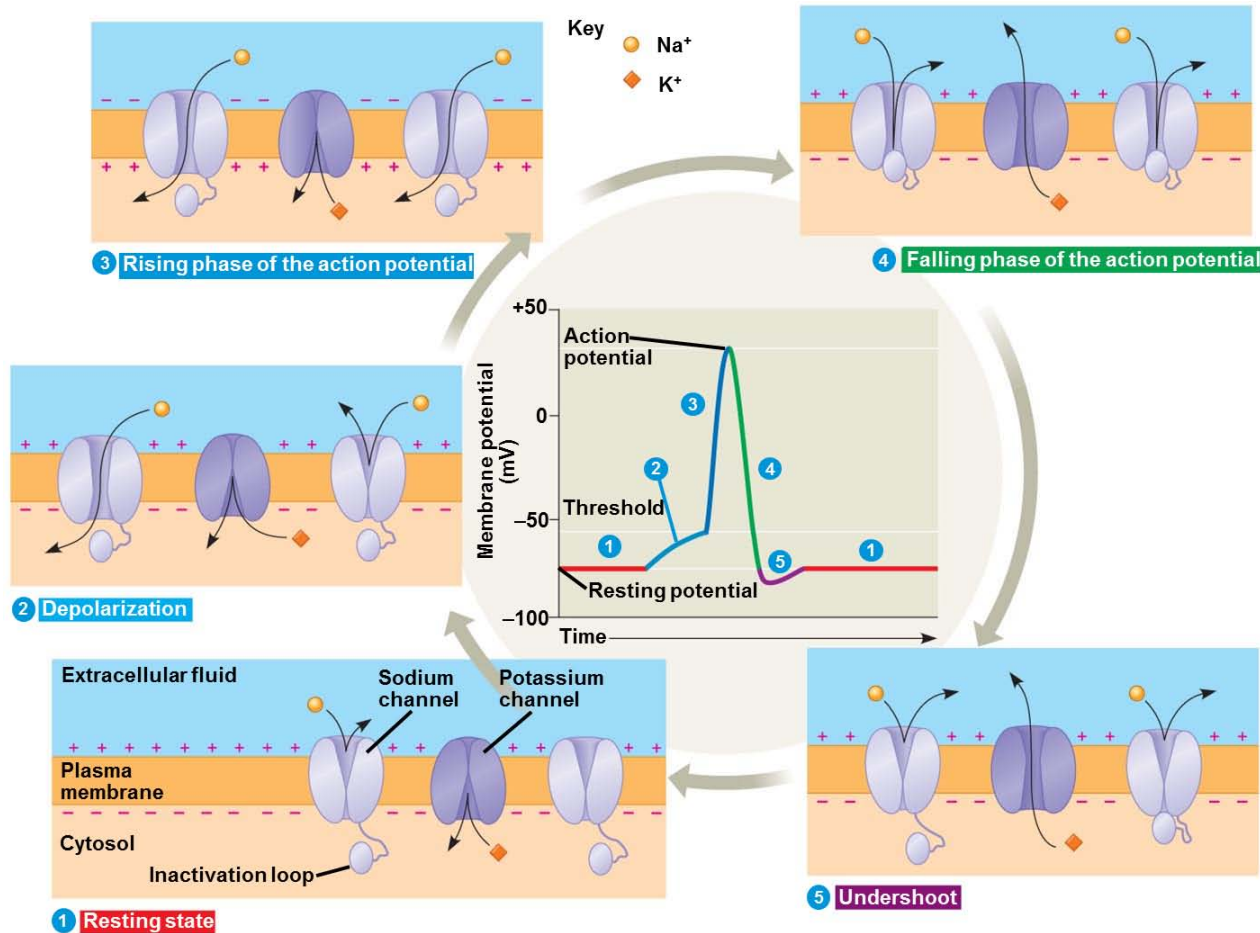


A duração desse ciclo é da ordem dos ms para a maioria das células.

3.5 Modelo eléctrico para a membrana do axónio.

Este ciclo está associado a grandes variações nas condutâncias dos canais específicos do sódio e do potássio.

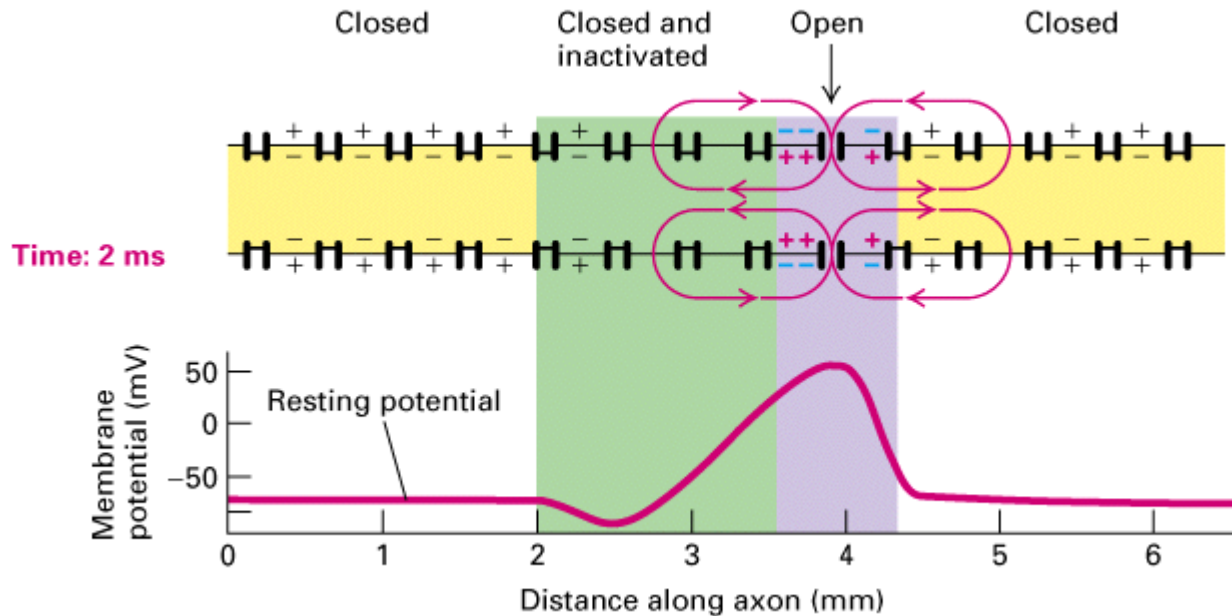
Canais de iões e potencial de acção



3.5 Modelo eléctrico para a membrana do axónio.

Este ciclo está associado também a pequenas correntes transversais responsáveis pela propagação do sinal.

Canais de iões e potencial de acção

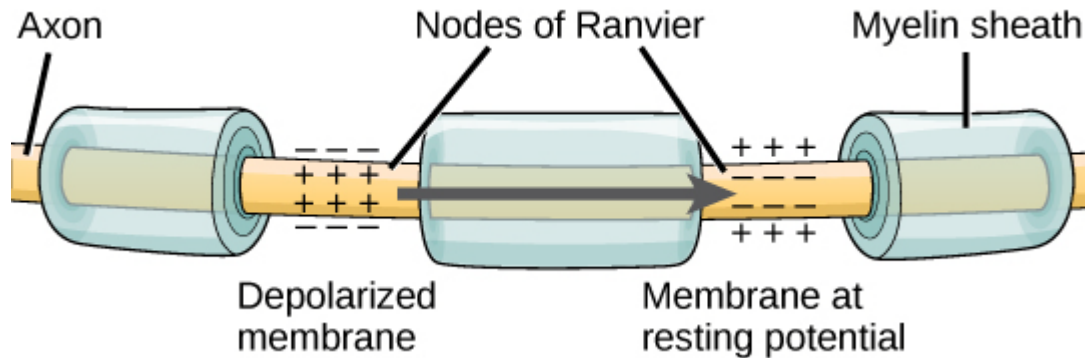


Lodish, Molecular Cell Biology, Freeman 2000.

3.5 Modelo eléctrico para a membrana do axónio.

O modelo de cabo eléctrico descreve bem a condução do impulso nervoso em axónios não mielinizados.

Canais de iões e potencial de acção



Em células nervosas com mielina, canais e correntes estão concentrados nos nodos de Ranvier, o que poupa energia e aumenta a velocidade de propagação.

Licenciaturas em Biologia e LCS

Física para Biólogos

2019-2020

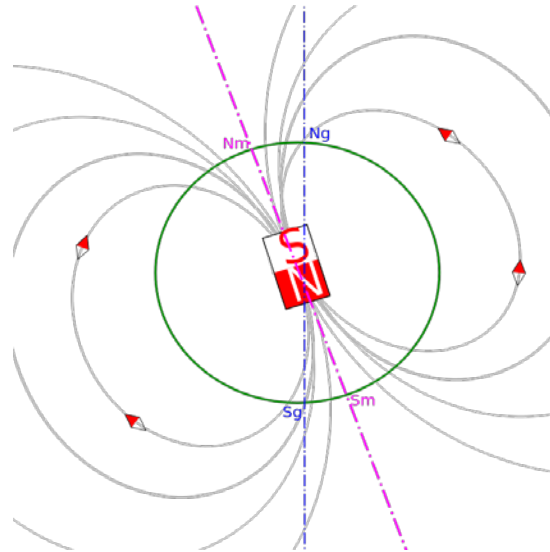
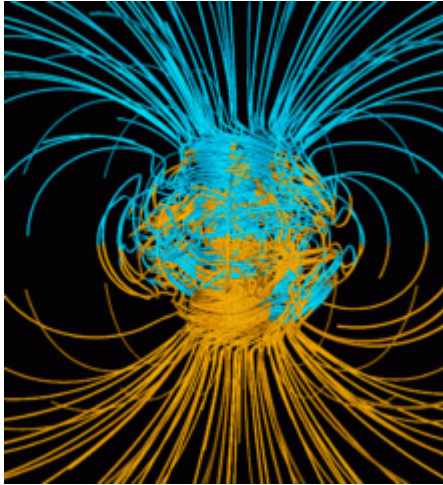
3- Electricidade e magnetismo

- Lei de Coulomb. Campo eléctrico. Potencial eléctrico.
- Dipolo eléctrico. Polarização. O condensador.
- Corrente eléctrica. Lei de Ohm.
- Circuitos RC.
- Transporte de iões em membranas carregadas e potencial de acção.
- **Campos magnéticos. Força de Lorentz.**
- Campo magnético produzido por uma corrente.
- Comportamento magnético dos materiais. Biomagnetismo.
- Ondas electromagnéticas.

3.6 Campos magnéticos.

Os ímãs permanentes e o campo magnético da Terra são conhecidos há muitos séculos.

Campo magnético terrestre



["Geomagnetisme" by JrPol - Own work. Licensed under CC BY-SA 3.0 via Wikimedia Commons - http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Geomagnetisme.svg#/media/File:Geomagnetisme.svg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Geomagnetisme.svg#/media/File:Geomagnetisme.svg)

O campo magnético terrestre é bem aproximado pelo de um dipolo cujo pólo Sul aponta numa direcção próxima do pólo norte geográfico.

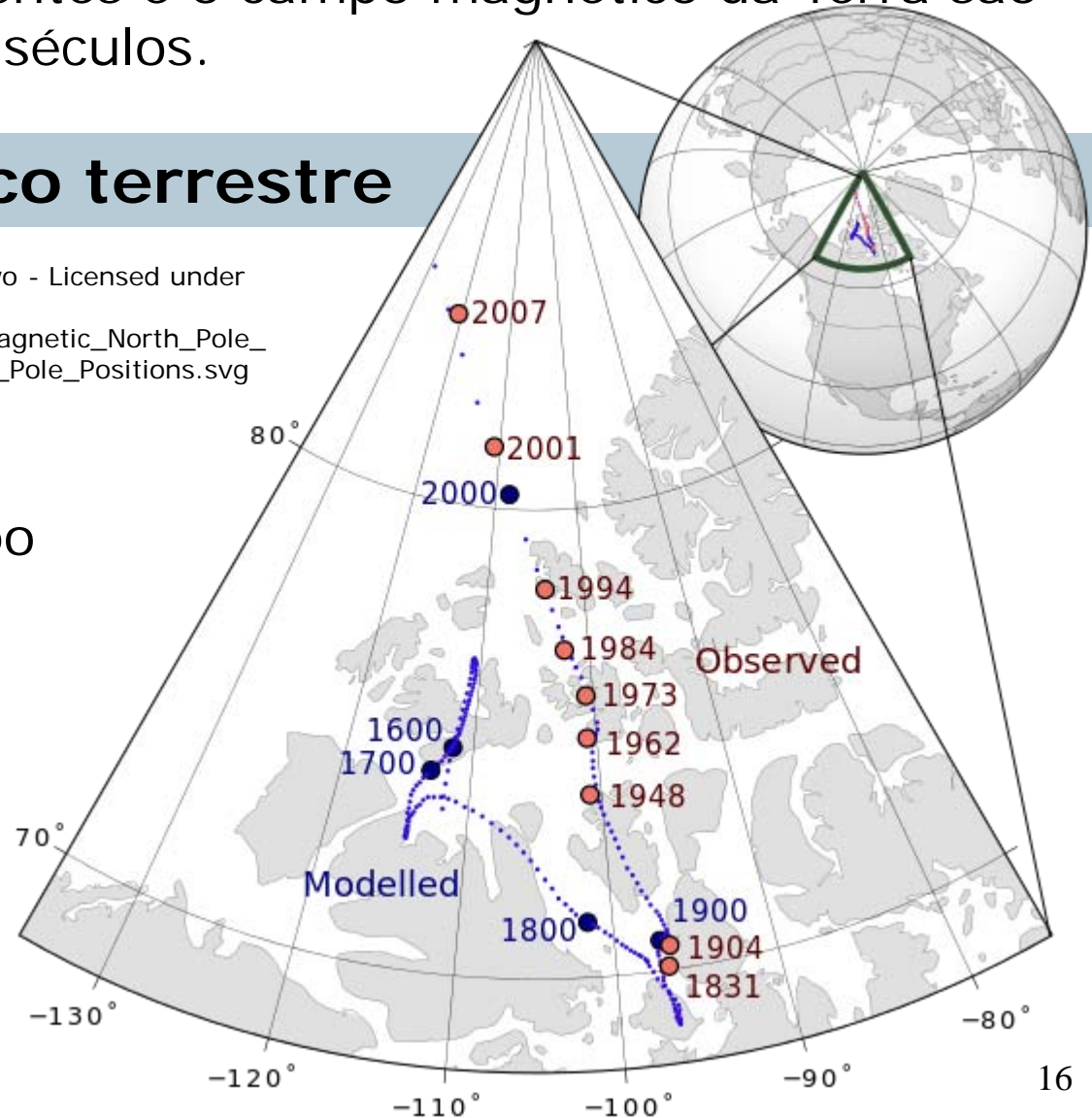
3.6 Campos magnéticos.

Os ímãs permanentes e o campo magnético da Terra são conhecidos há muitos séculos.

Campo magnético terrestre

"Magnetic North Pole Positions" by Tentotwo - Licensed under CC BY-SA 3.0 via Wikimedia Commons
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Magnetic_North_Pole_Positions.svg#/media/File:Magnetic_North_Pole_Positions.svg

A orientação do campo magnético terrestre variou ao longo da história da Terra.

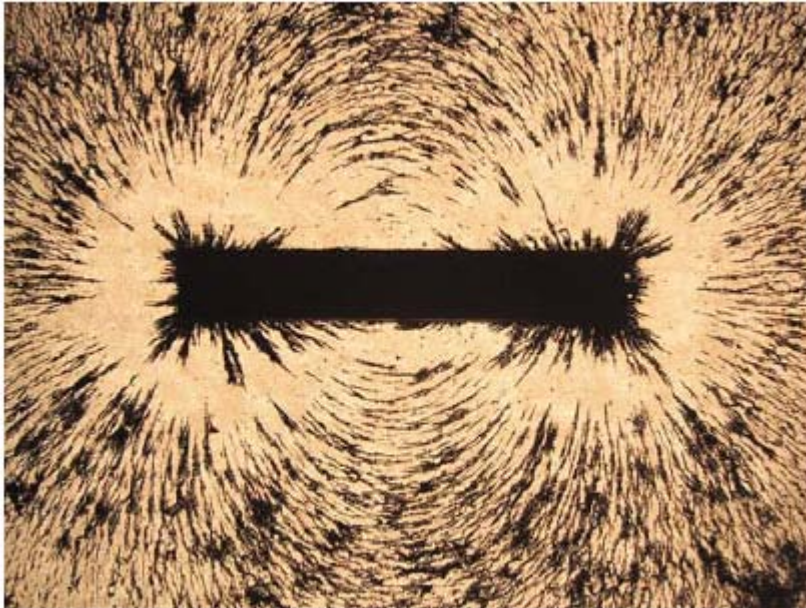


3.6 Campos magnéticos.

O campo magnético mais simples é o campo de um dipolo – não existem 'cargas magnéticas' isoladas.

Dipolo magnético

Physics of the Life Sciences, J. Newman, Springer, 2008.



A unidade SI de intensidade de campo magnético é o tesla (T).

Como se relaciona esta unidade com as outras unidades do sistema?

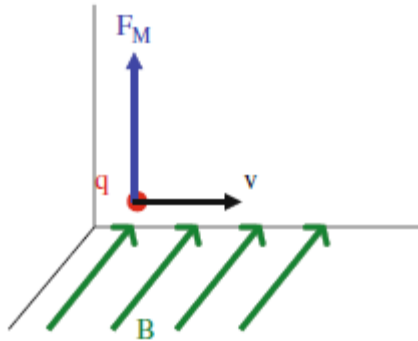
As linhas de campo são idênticas às linhas de campo do campo eléctrico criado por um dipolo eléctrico.

3.6 Campos magnéticos.

O campo magnético actua sobre dipolos magnéticos mas também sobre cargas eléctricas em movimento.

Força de Lorentz

Physics of the Life Sciences,
J. Newman, Springer, 2008.



$$F_M = q v B$$

A força de Lorentz é perpendicular em cada ponto ao vector velocidade e ao vector campo magnético.

O tesla está relacionado com as outras unidades SI de acordo com

$$1 \text{ T} = 1 \text{ N s/C m}$$

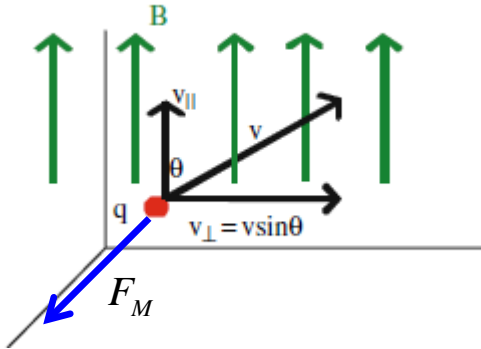
A força de Lorentz é um dos factos experimentais que revelam a relação estreita entre electricidade e magnetismo.

3.6 Campos magnéticos.

O campo magnético actua sobre dipolos magnéticos mas também sobre cargas eléctricas em movimento.

Força de Lorentz

Physics of the Life Sciences,
J. Newman, Springer, 2008.



A força de Lorentz é perpendicular em cada ponto ao vector velocidade e ao vector campo magnético.

O tesla está relacionado com as outras unidades SI de acordo com

$$F_M = q v B \sin \theta$$

$$1 \text{ T} = 1 \text{ N s/C m}$$

A força de Lorentz é um dos factos experimentais que revelam a relação estreita entre electricidade e magnetismo.

3.6 Campos magnéticos.

A força de Lorentz está na base do funcionamento do espectrómetro de massa.

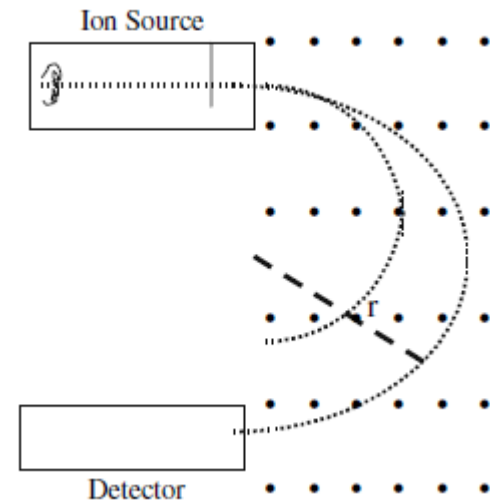
Força de Lorentz

$$F_M = qvB$$

$$F_M = m \frac{v^2}{R}$$

$$\frac{m_i}{q_i} = \frac{R_i B}{v}$$

Physics of the Life Sciences, J. Newman, Springer, 2008.



Íons de massa diferentes entram com a mesma velocidade num campo magnético uniforme e são separados em trajetórias circulares com diferentes raios.

Licenciaturas em Biologia e LCS

Física para Biólogos

2018-2019

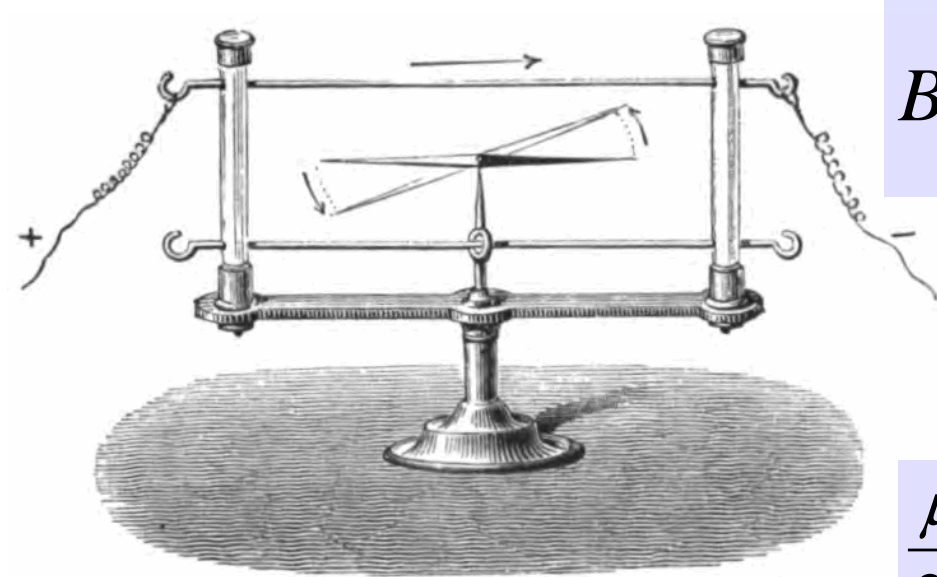
3- Electricidade e magnetismo

- Lei de Coulomb. Campo eléctrico. Potencial eléctrico.
- Dipolo eléctrico. Polarização. O condensador.
- Corrente eléctrica. Lei de Ohm.
- Circuitos RC.
- Transporte de iões em membranas carregadas e potencial de acção.
- Campos magnéticos. Força de Lorentz.
- **Campo magnético produzido por uma corrente.**
- Comportamento magnético dos materiais. Biomagnetismo.
- Ondas electromagnéticas.

3.7 Campo magnético produzido por uma corrente.

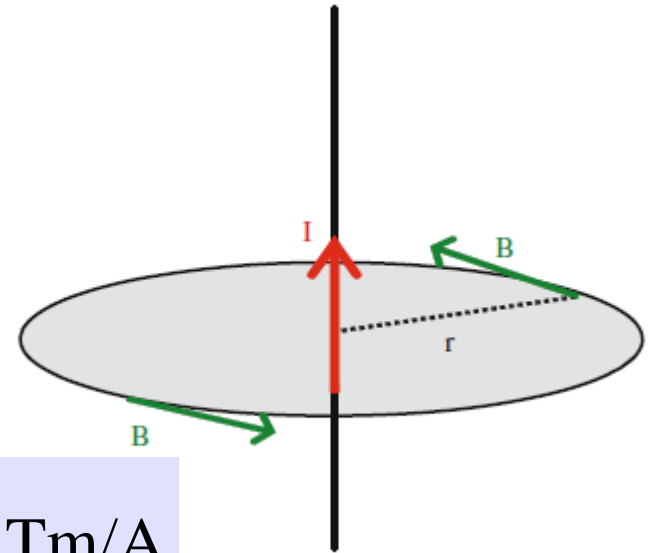
Reciprocamente, cargas eléctricas em movimento produzem campos magnéticos.

Campo de uma corrente rectilínea



$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

$$\frac{\mu_0}{2\pi} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ Tm/A}$$



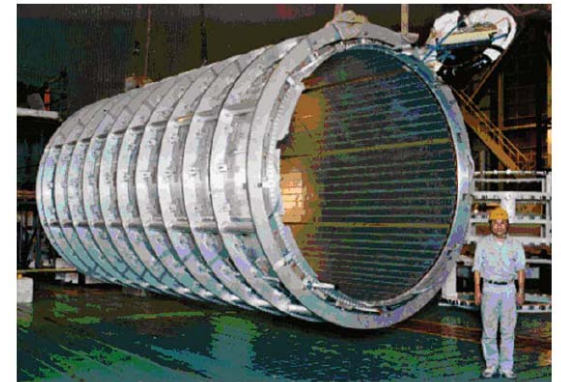
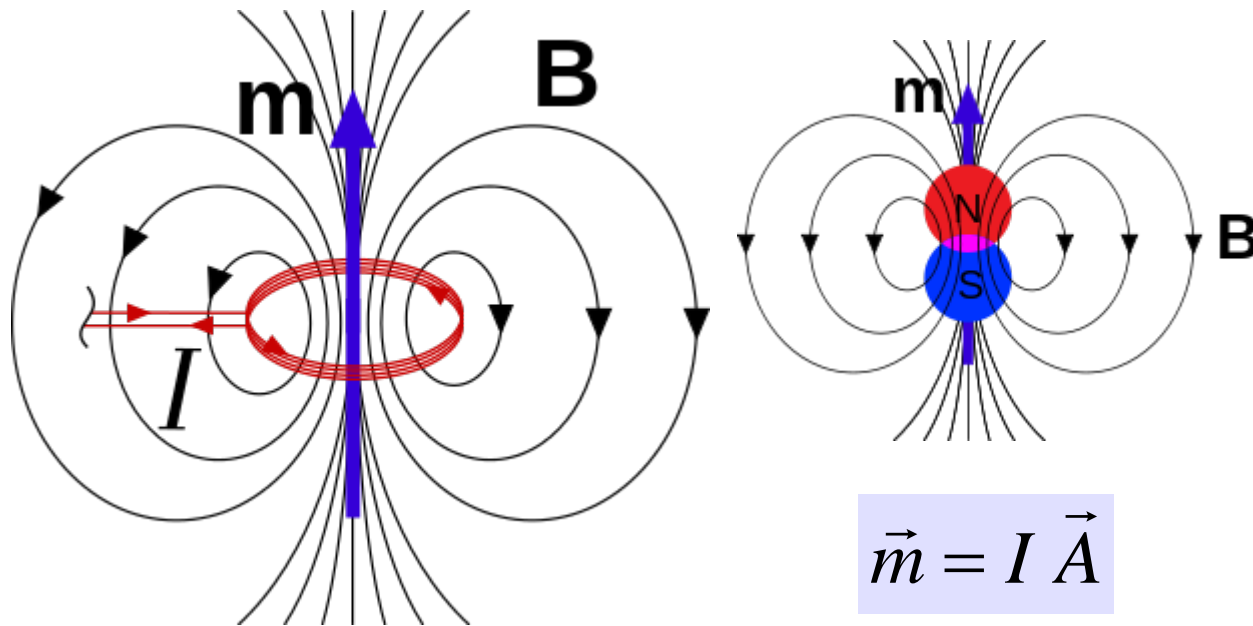
Physics of the Life Sciences,
J. Newman, Springer, 2008.

Campo eléctrico e campo magnético são indissociáveis.

3.7 Campo magnético produzido por uma corrente.

Cargas eléctricas em movimento produzem campos magnéticos.
Campo elétrico e campo magnético são indissociáveis.

Dipolo equivalente de um anel de corrente

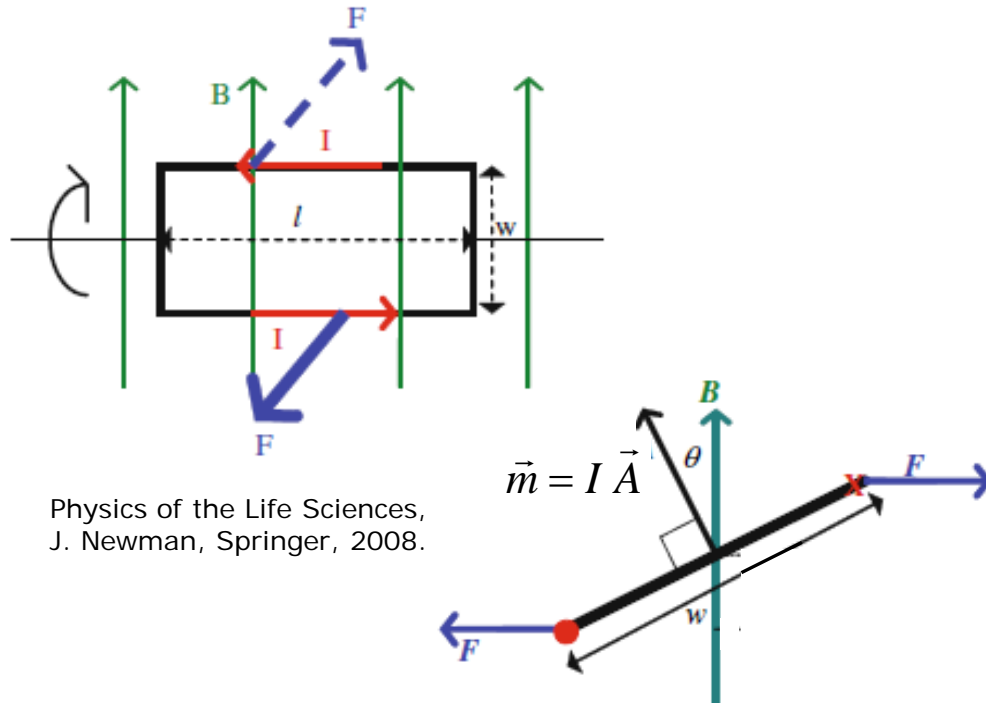


Um anel de corrente comporta-se como um dipolo magnético do ponto de vista do campo magnético que cria.

3.7 Campo magnético produzido por uma corrente.

O momento dipolar caracteriza completamente um dipolo magnético e é o análogo do momento dipolar eléctrico.

Dipolo equivalente de um anel de corrente



Physics of the Life Sciences,
J. Newman, Springer, 2008.

O momento magnético de um dipolo ou anel de corrente mede a sua tendência a alinhar com um campo, através da energia potencial

$$U = -m B \cos \theta$$

análoga à expressão para o dipolo eléctrico no campo eléctrico.

Um anel de corrente comporta-se como um dipolo magnético do ponto de vista da interacção com um campo magnético.

Licenciaturas em Biologia e LCS

Física para Biólogos

2018-2019

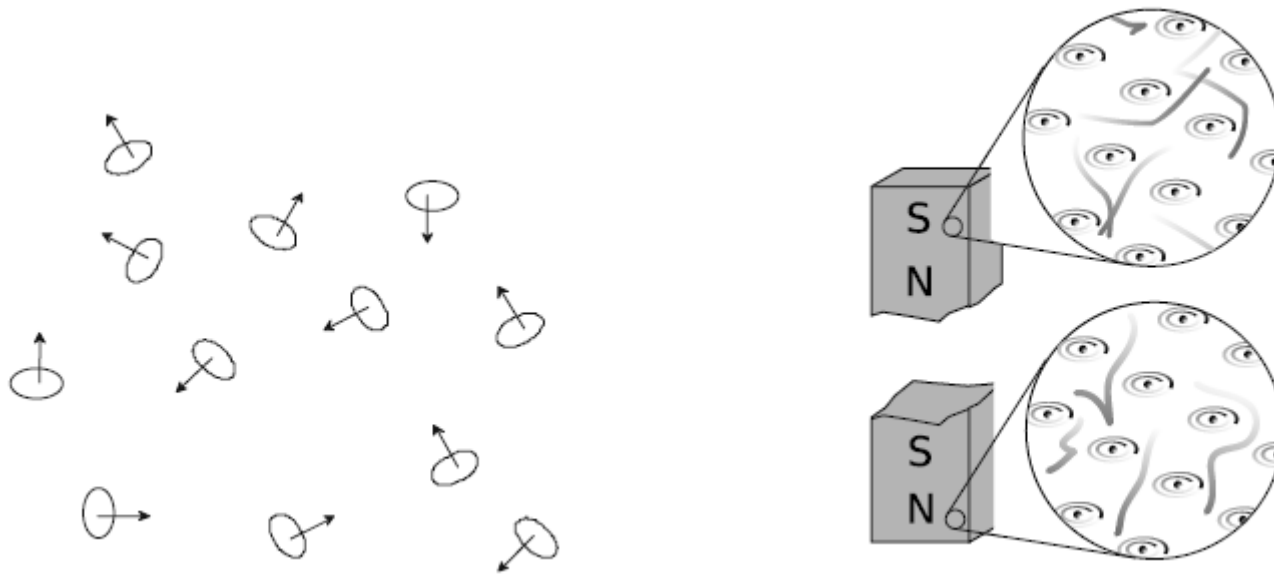
3- Electricidade e magnetismo

- Lei de Coulomb. Campo eléctrico. Potencial eléctrico.
- Dipolo eléctrico. Polarização. O condensador.
- Corrente eléctrica. Lei de Ohm.
- Circuitos RC.
- Transporte de iões em membranas carregadas e potencial de acção.
- Campos magnéticos. Força de Lorentz.
- Campo magnético produzido por uma corrente.
- **Comportamento magnético dos materiais. Biomagnetismo.**
- Ondas electromagnéticas.

3.8 Materiais magnéticos e biomagnetismo

A relação entre anéis de corrente e dipolos magnéticos está na base da origem do campo magnético terrestre...

Magnetismo e correntes microscópicas

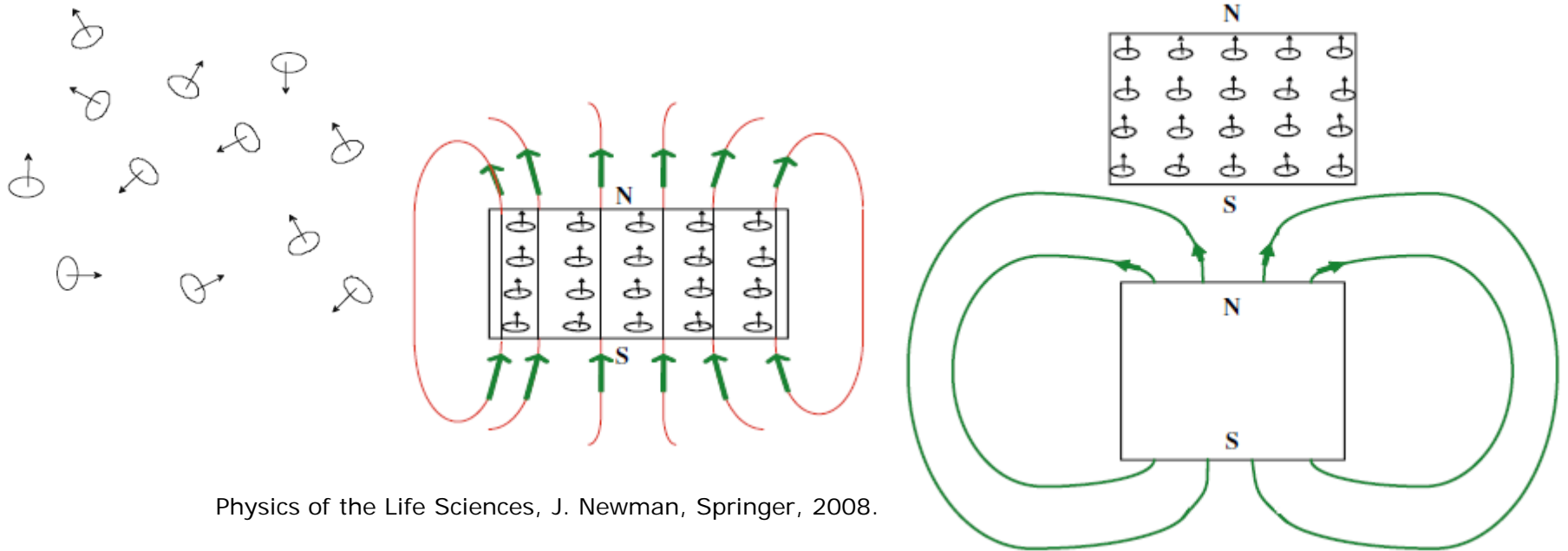


...e da explicação do comportamento magnético dos materiais.

3.8 Materiais magnéticos e biomagnetismo

Nos materiais ferromagnéticos à temperatura ambiente existem à escala das dezenas de nm domínios com ordem magnética.

Magnetismo e correntes microscópicas



Physics of the Life Sciences, J. Newman, Springer, 2008.

Em geral, a presença de um campo magnético exterior ordena os dipolos microscópicos ou os domínios magnéticos.

3.8 Materiais magnéticos e biomagnetismo

O campo magnético terrestre desempenha um papel nos mecanismos de orientação de vários animais.

Biomagnetismo

As aves migratórias detectam a direcção do campo magnético terrestre (da ordem dos μT) com erro $<5^\circ$, através de reacções químicas induzidas pela luz nas proteínas criptocromo da retina. Detalhes físicos destas reacções parecem jogar um papel determinante nesta precisão.

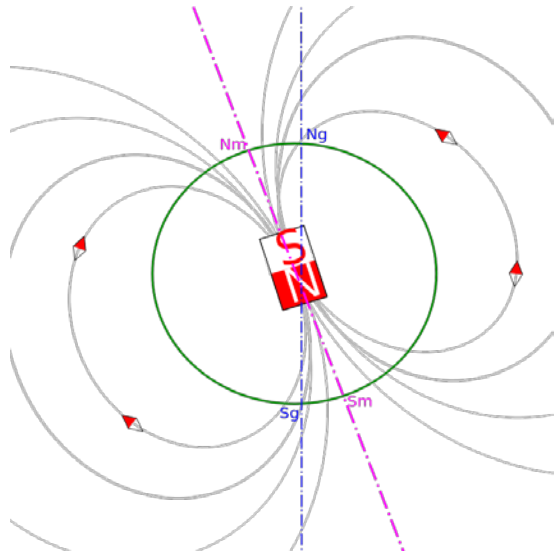
HG Hiscock et al., PNAS 2016 113 (17) 4634-4639



3.8 Materiais magnéticos e biomagnetismo

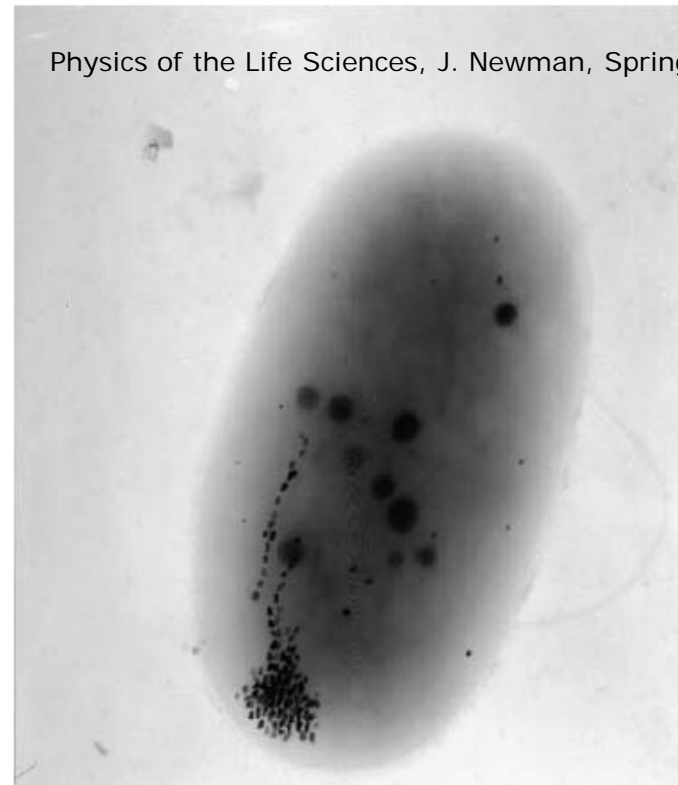
O campo magnético terrestre desempenha um papel nos mecanismos de orientação de vários animais.

Biomagnetismo



No caso das bactérias magnéticas a orientação não é geográfica, mas em profundidade.

AN 2015



Physics of the Life Sciences, J. Newman, Springer, 2008.

FIGURE 17.1 A magnetic bacterium with chains of small magnetic particles, called magnetosomes, made from magnetite and each about 100 nm in size.

3.8 Materiais magnéticos e biomagnetismo

A espectroscopia de NMR é um método de análise baseado na existência de momentos magnéticos associados aos núcleos de vários átomos, como por exemplo o hidrogénio.

NMR

Physics of the Life Sciences, J. Newman, Springer, 2008.

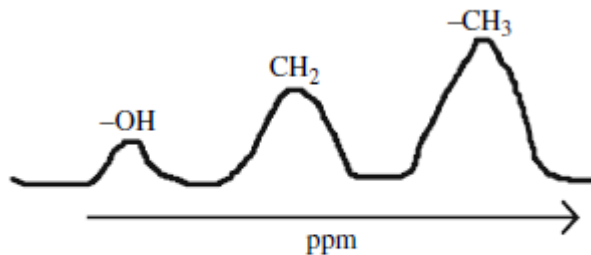
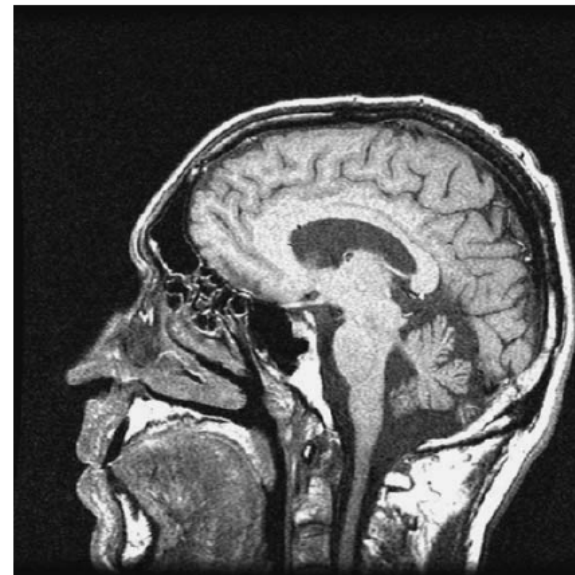


FIGURE 18.16 Low resolution NMR spectrum of ethanol showing the 3:2:1 ratio of peak areas.



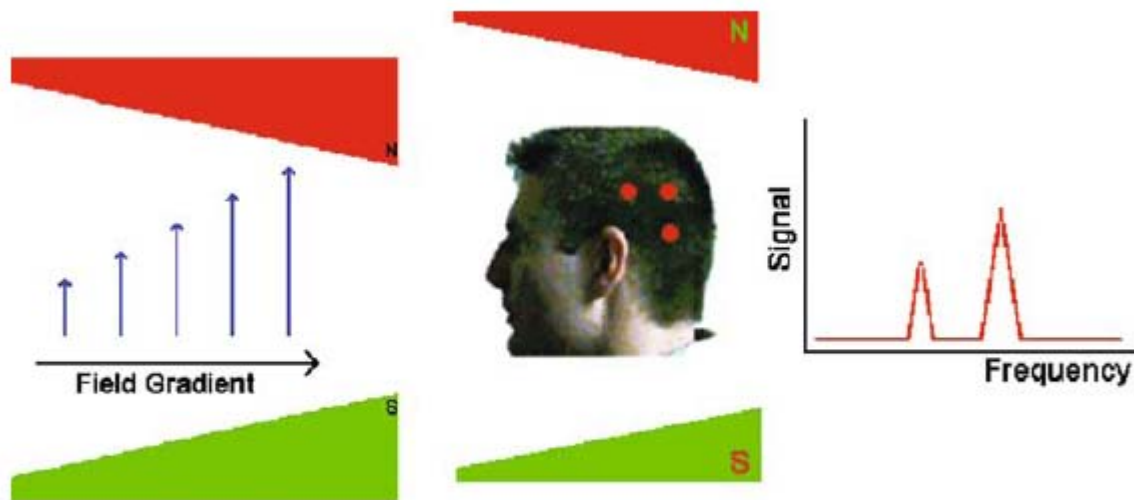
A resposta magnética na presença de campos fortes é usada no estudo de moléculas complexas e em diagnóstico médico.

3.8 Materiais magnéticos e biomagnetismo

A espectroscopia de NMR é um método de análise baseado na existência de momentos magnéticos associados aos núcleos de vários átomos, como por exemplo o hidrogénio.

NMR

Physics of the Life Sciences, J. Newman, Springer, 2008.



$$U = \pm m B$$

A resposta em frequência é proporcional ao teor de água nos tecidos que se encontram em valores de B para os quais essa frequência excita a passagem dos spins para o nível de energia superior.

3.8 Materiais magnéticos e biomagnetismo

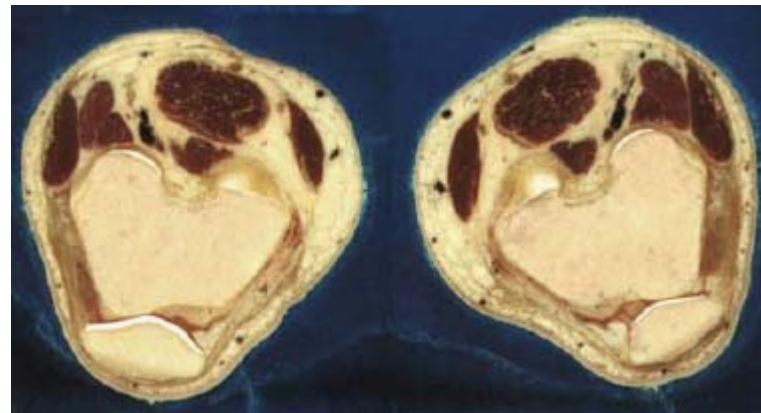
As imagens de NMR distinguem o teor de água dos diferentes tecidos.

NMR

Table 18.2 Water Content of Normal Human Tissue

Tissue	% water
Brain (white matter)	84
Kidney	81
Myocardium	80
Skeletal muscle	79
Brain (gray matter)	72
Liver	71
Nerve	56
Bone (cortex)	12
Teeth	10

Physics of the Life Sciences, J. Newman, Springer, 2008.



Outro dado importante é o tempo de relaxação dos spins, que permite discriminar diferentes tecidos com teores de água similares.

Física para Biólogos

2019-2020

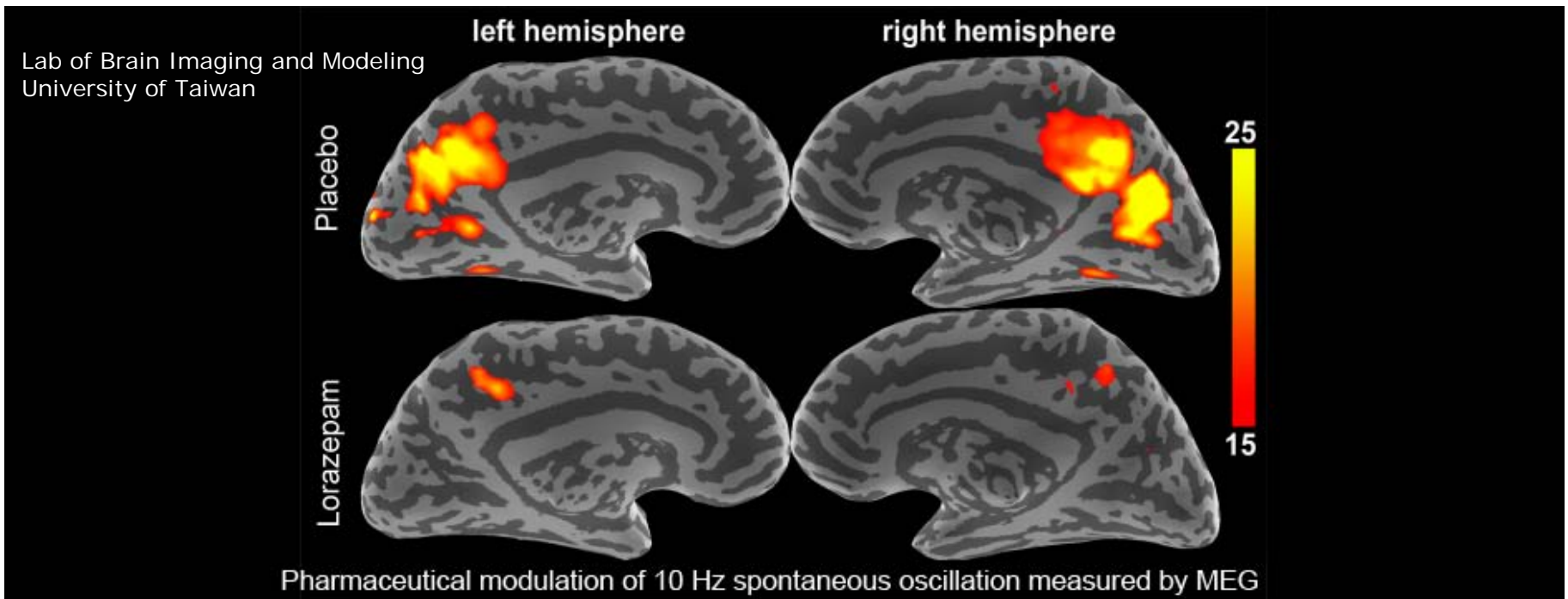
3- Electricidade e magnetismo

- Lei de Coulomb. Campo eléctrico. Potencial eléctrico.
- Dipolo eléctrico. Polarização. O condensador.
- Corrente eléctrica. Lei de Ohm.
- Circuitos RC.
- Transporte de iões em membranas carregadas e potencial de acção.
- Campos magnéticos. Força de Lorentz.
- Campo magnético produzido por uma corrente.
- Comportamento magnético dos materiais. Biomagnetismo.
- **Ondas electromagnéticas.**

3.9 Ondas electromagnéticas

Falamos de campo electromagnético, uma vez que campo magnético e campo eléctrico estão relacionados e em geral presentes simultâneamente.

MEG e MCG

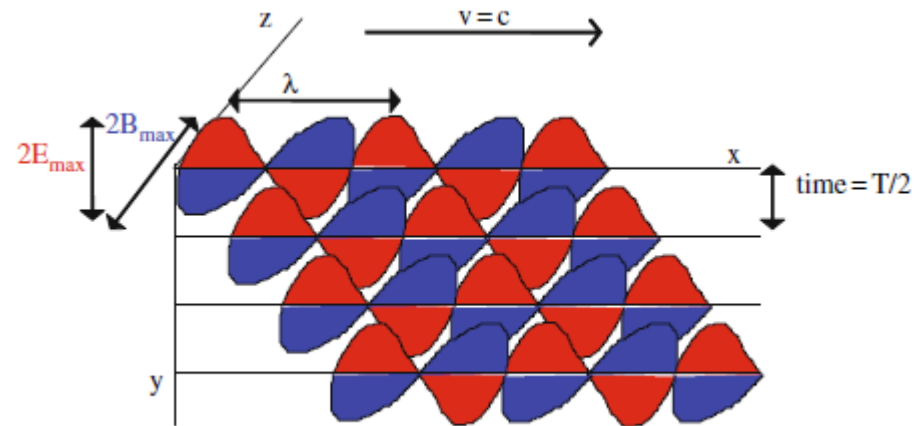
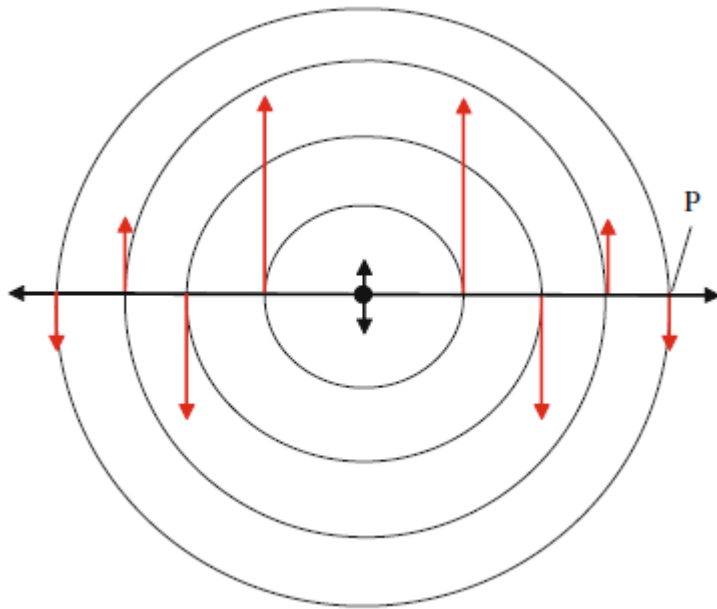


A possibilidade de detectar campos magnéticos muito fracos permitiu usar também medidas magnéticas para estudar a actividade cardíaca e cerebral.

3.9 Ondas electromagnéticas

Cargas eléctricas aceleradas produzem campos electromagnéticos que variam no tempo e se propagam no espaço à velocidade da luz.

Campo de uma carga oscilante

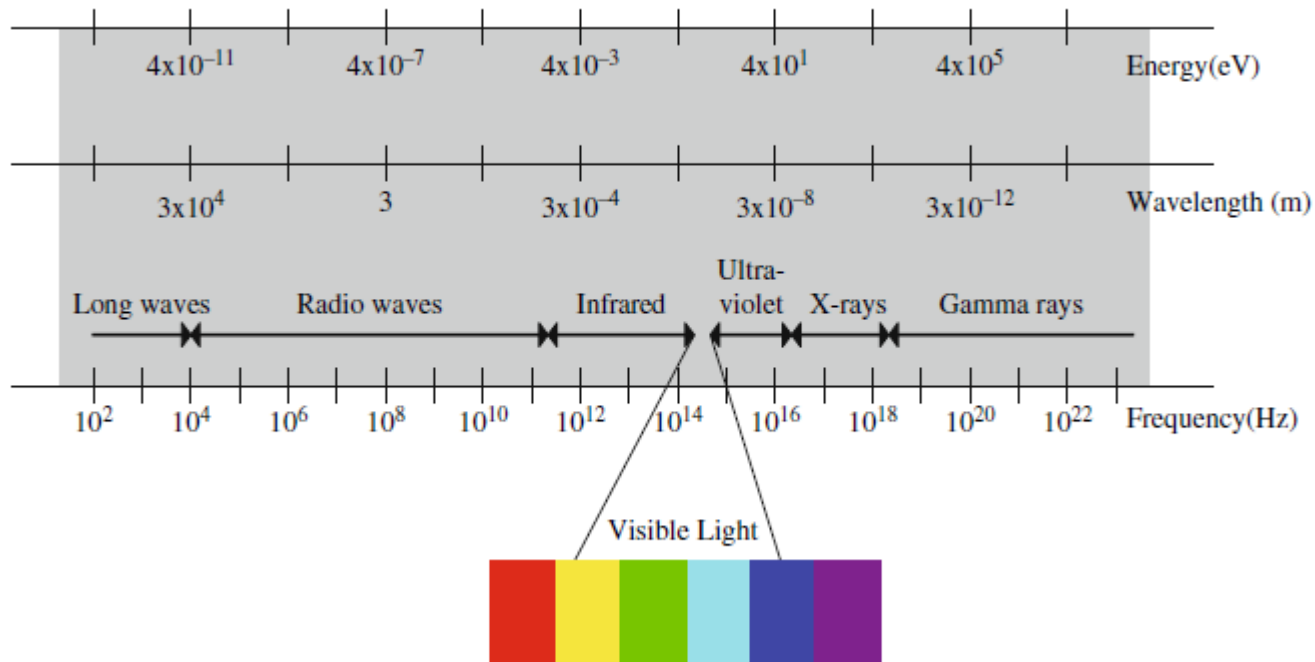


A onda electromagnética produzida por uma carga oscilante é uma onda transversal de oscilações dos campos \vec{E} e \vec{B} .

3.9 Ondas electromagnéticas

A energia e os efeitos biológicos da radiação electromagnética dependem da sua frequência.

A luz

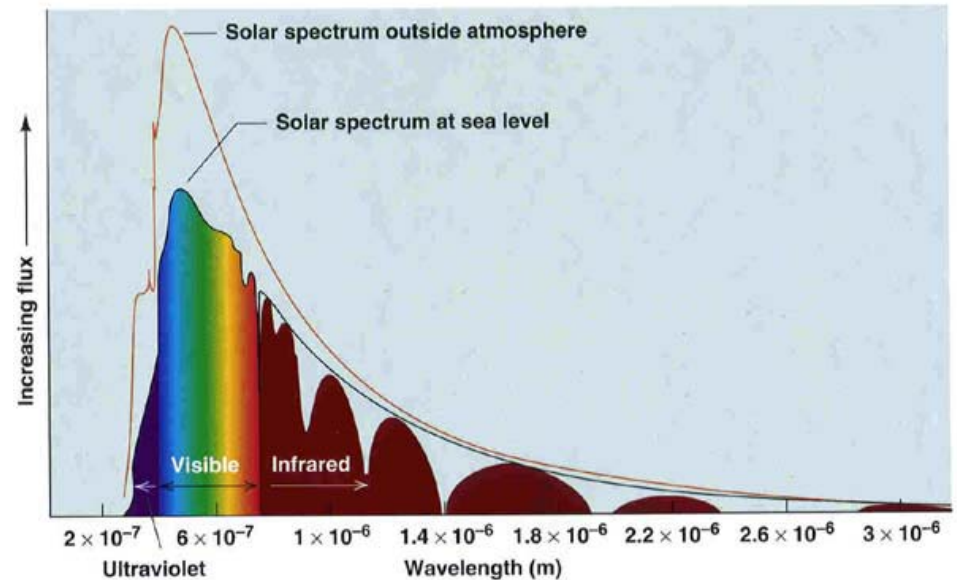
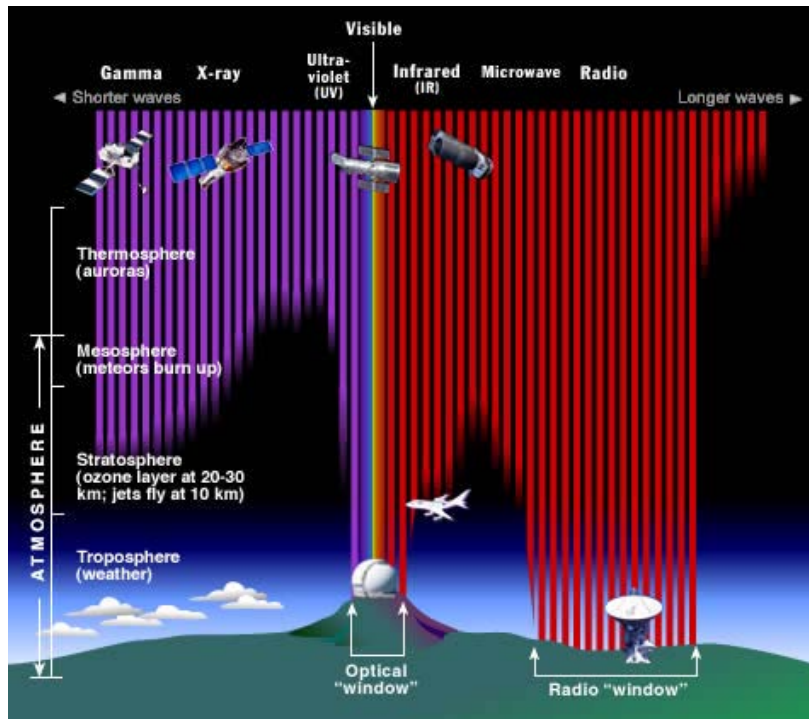


A luz visível corresponde a uma pequena região do espectro electromagnético.

3.9 Ondas electromagnéticas

O espectro da radiação solar é determinado pela temperatura do Sol.

A luz



A luz visível corresponde a uma grande parte do espectro da radiação solar à superfície da Terra.