

Electromagnetismo e Óptica

Segunda, 16 de Setembro, 2013
MEC LEGM

Marcos da história do eletromagnetismo

William Gilbert	Ingl.	1540 1603	Médico	<i>Investigação experimental de Electricidade estática (fritção) e do Magnetismo (1600)</i>
Stephen Grey	Ingl –	1666 1736	Astrónomo	<i>Descobre que há condutores e isolantes eléctricos (1711)</i>
Charles Dufay	Franc.	1698 1739	Químico	<i>Descobre que existem apenas duas formas de Electricidade, positiva e negativa (1733)</i>
Pieter van Musschenbroek	Holand.	1692 1761	Médico	<i>Inventa a Garrafa de Leyden (condensador), o primeiro armazém de electricidade (1745)</i>
Benjamin Franklin	Americ.	1706 1790	Tipógrafo Político	<i>Princípio da Conservação de Carga (1751) . Inventor do Pára – Raios.</i>
Joseph Priestley	Ingl.	1733 1804	Químico	<i>Mostra que no interior de uma cavidade metálica não existe força eléctrica, nem carga na superfície interna.(1767) Primeira suspeita de que a força eléctrica varia com o inverso do quadrado da distância.</i>
Joseph–Louis Lagrange	Franc.	1736 1813	Matemático	<i>Conceito de potencial gravítico (1772)</i>
Pierre–Simon Laplace	Franc.	1749 1827	Matemático	<i>Equação para o potencial na ausência de cargas (1782)</i>
Charles Augustin Coulomb	Franc.	1736 1806	Engenheiro	<i>Balança de Torsão, Lei do inverso – quadrado da distância (1788)</i>
Luigi Galvani	Italia.	1737 1798	Anatomista Biólogo	<i>Electricidade animal e correntes eléctricas (1791)</i>
Alessandro Volta	Italia.	1745 1827	Físico	<i>Pilha Voltaica (1800). $Q = CV$</i>
Siméon–Dennis Poisson	Franc.	1781 1840	Matemático	<i>Equação para o potencial na presença de cargas (1813)</i>
Hans Christian Oersted	Dinam.	1777 1851	Físico	<i>Deflexão duma bússola por uma corrente eléctrica (1820)</i>
André–Marie Ampère	Franc.	1775 1836	Matemático Químico,	<i>Explicação Matemática do Electromagnetismo de Oersted (1820) Força entre dois condutores com corrente eléctrica. Magnetização.</i>
Joseph Henry	Americ.	1797 1878	Cientista	<i>Electroímã de bobinas, Inventor do Telégrafo (1831)</i>
Michael Faraday	Ingl.	1791 1867	Químico, Físico Exp.	<i>Indução Electromagnética (1831) Electrólise. Magnetismo e Polarização da luz (1845). Diamagnetismo.</i>
James Clerk Maxwell	Escocês	1831 1879	Físico	<i>Formulação Matemática do Electromagnetismo (1856 – 1864), Teoria da Cor , 1ª Fotografia a Cores (1861)</i>
Heinrich Rudolf Hertz	Alemão	1857 1894	Físico	<i>Prova a existência de Ondas Electromagnéticas construindo antenas (1886)</i>
Hendrik Antoon Lorentz	Holand.	1853 1928	Físico	<i>Teoria Microscópica do Electromagnetismo. (teoria dos Electrões) (1875) Transformação de Lorentz (1895 – 1904)</i>
Max Planck	Alemão	1858 1947	Físico	<i>Quantização da energia em múltiplos de h para explicar o espectro de radiação dum corpo negro (1900)</i>
Albert Einstein	Alemão	1879 1955	Físico	<i>Efeito Foto–eléctrico e o conceito de fóton (1905) Teoria de relatividade restrita.</i>
Robert Millikan	Americ.	1868 1953	Físico	<i>Quantização da carga eléctrica (1909)</i>

Propriedades da carga eléctrica.

- ◆ É transferível dum objecto para outro por contacto.
- ◆ É altamente móvel em objectos metálicos (condutores) e muito pouco móvel noutros materiais (isolantes).
- ◆ Há dois tipos de carga eléctrica: positiva e negativa.
- ◆ Partículas sem carga também existem mas podem ser explicadas em termos destas duas.
- ◆ A carga total é igual à soma das cargas individuais.
- ◆ A carga total de um sistema isolado é constante.
- ◆ A carga eléctrica é invariante para mudanças de referencial.
- ◆ A carga eléctrica é quantizada ([Millikan](#) 1909).
- ◆ A unidade de carga eléctrica é o Coulomb (C)

A experiência de Millikan.

- ◆ Gotas de óleo de densidade ρ e carga q caem, na ausência de campo eléctrico, sob a ação do seu peso aparente (peso-impulsão) e da força de atrito viscoso, a qual é proporcional à velocidade instantânea da gota, ao seu raio r e à viscosidade η do meio.
- ◆ A velocidade da gota aumenta até que a força de atrito viscoso iguale o peso aparente, e então a velocidade limite \vec{v}_1 pode ser medida (como $\frac{\text{distância percorrida}}{\text{tempo de queda}}$) e a massa aparente m da gota deduzida:

$$m \vec{g} - 6 \pi \eta r \vec{v}_1 = 0 \quad \Rightarrow \quad m = 9 \pi \sqrt{\frac{2}{\rho}} \left(\frac{\eta v_1}{g} \right)^{3/2}$$

- ◆ Aplicando agora um campo eléctrico vertical \vec{E} antes da gota chegar ao fundo é possível reverter o seu movimento, medir uma nova velocidade limite \vec{v}_2 (devido ao novo balanço entre as forças) e deduzir a carga q :

$$m \vec{g} - 6 \pi \eta r \vec{v}_2 + q \vec{E} = 0 \quad \Rightarrow \quad q = \frac{m g}{E} \frac{(v_1 + v_2)}{v_1}$$

- ◆ Ao executar esta operação para diferentes gotas com diferentes cargas obtém-se $q = N q_e$ com N inteiro e $q_e \approx 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$.

Como é que se distribuem as cargas nos condutores e isolantes?

- ◆ A designação de condutor e isolante é demasiado redutora. Dependendo de condições exteriores, como temperatura, pressão, forças aplicadas, ou interiores, como mudança de fase, abundância de contaminantes ou estrutura cristalina, os materiais podem ser mais ou menos condutores ou isolantes, como super-condutores, semi-condutores, resistências não-ohmicas, materiais dielétricos, piezoelétricos e colóides, e até novos materiais artificiais que não existem naturalmente, os metamateriais.
- ◆ Hoje sabemos existirem inúmeras partículas elementares com carga positiva ou negativa. Os exemplares mais conhecidos são prótons (positivo) e electrões (negativo).

Partícula	Carga (C)	Massa (Kg)
Electrão	-1.60219×10^{-19}	9.1095×10^{-31}
Protão	1.60219×10^{-19}	1.67261×10^{-27}
Neutrão	0	1.67261×10^{-27}

- ◆ Na maior parte dos materiais sólidos em condições ambiente a existência duma carga significa um excesso (carga negativa) ou uma escassez (carga positiva) de electrões para compensar a carga positiva dos núcleos atómicos. Os electrões são relativamente móveis e alguns podem ser arrancados ou adicionados aos átomos à custa de alguma energia, criando iões positivos ou negativos que não se podem deslocar em geral para compensar o desequilíbrio de cargas.
- ◆ Nos condutores, electrões vizinhos podem facilmente redistribuir-se para atingir uma situação de equilíbrio, mas nos materiais não condutores a falta ou excesso de electrões fica confinada localmente.
- ◆ Em líquidos, gases e plasmas já os próprios iões se podem deslocar mais facilmente ou reagir quimicamente com outros elementos para redistribuir a falta ou excesso de electrões até se encontrar uma solução estável.
- ◆ Nos p-semicondutores, embora haja muito pouca mobilidade dos electrões é frequente que nos locais em que estes faltam, ou "buracos", geralmente associados a impurezas com falta de electrões de valência, pareça existir uma "carga" positiva que se desloca à medida que electrões de átomos vizinhos vão ocupando o lugar vago quando sujeitos a um campo exterior que lhes forneça suficiente energia para saltar.
- ◆ Nos n-semicondutores as impurezas introduzem um excesso de electrões. Nos semicondutores os electrões podem deslocar-se se forem excitados até atingir o nível da "banda de condução" e nessa altura conseguem deslocar-se com facilidade até dissiparem a sua energia em calor.

Comparação entre força elétrica e força gravitacional.

Átomo de Hidrogénio= 1 protão+1 electrão à distância
 $r_H = 5.3 \times 10^{-11} \text{ m}$

Constantes

$q_e \rightarrow 1.60218 \times 10^{-19}$	<i>Coulomb</i>
$q_p \rightarrow 1.60218 \times 10^{-19}$	<i>Coulomb</i>
$\epsilon_0 \rightarrow 8.85419 \times 10^{-12}$	$\frac{\text{Coulomb}}{\text{Newton Meter}^2}$
$m_e \rightarrow 9.10938 \times 10^{-31}$	<i>Kilogram</i>
$m_p \rightarrow 1.67262 \times 10^{-27}$	<i>Kilogram</i>
$r_H \rightarrow 5.29177 \times 10^{-11}$	<i>Meter</i> ²
$G \rightarrow 6.67428 \times 10^{-11}$	$\frac{\text{Meter}^2 \text{ Newton}}{\text{Kilogram}^2}$

Força elétrica

$$|F_e| = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_e q_p}{r_H^2} = 8.21316 \times 10^{-8} \text{ Newton}$$

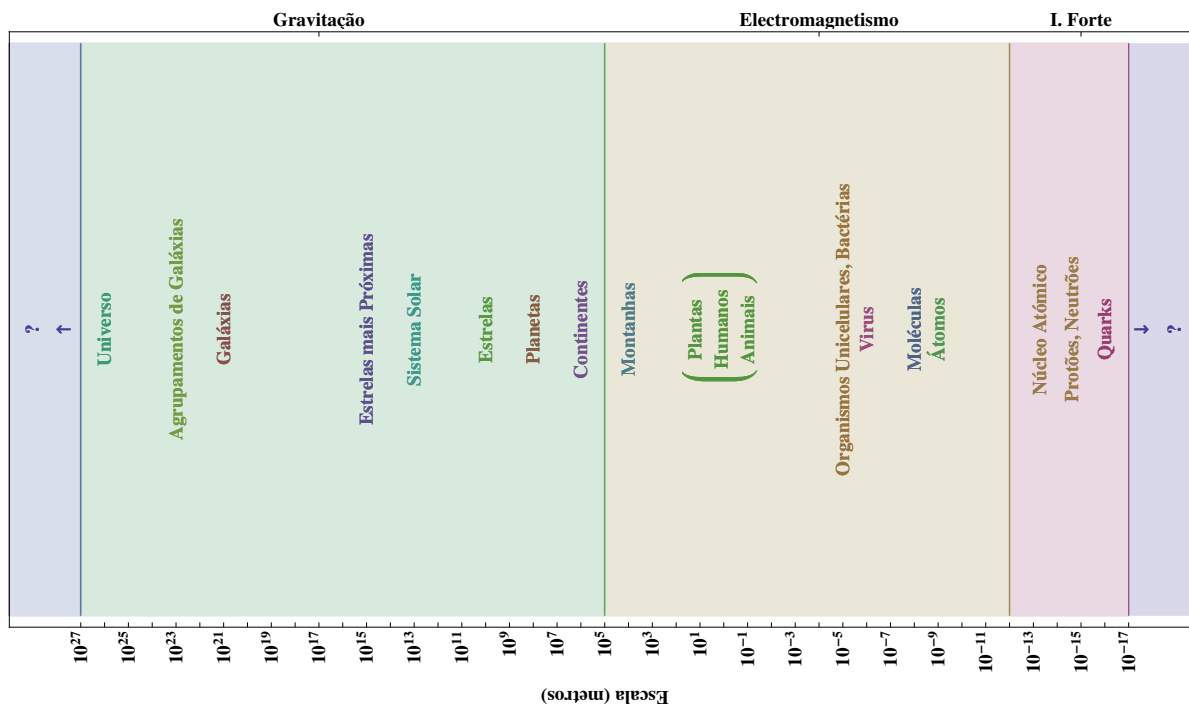
Força gravítica

$$|F_g| = G \frac{m_e m_p}{r_H^2} = 3.62026 \times 10^{-47} \text{ Newton}$$

Razão entre forças

$$\frac{|F_e|}{|F_g|} = \frac{8.21316 \times 10^{-8}}{3.62026 \times 10^{-47}} = 2.26867 \times 10^{39}$$

Interações fundamentais e escalas.



- ◆ À escala macroscópica a maioria dos materiais apresenta-se eletricamente neutro porque precisamente as forças elétricas são tão fortes que há a tendência de qualquer excesso de carga atrair cargas de sinal contrário até se atingir um equilíbrio. Por isso a interação gravítica é dominante a grandes escalas.
- ◆ Por outro lado forças magnéticas aparecem frequentemente à escala natural. Na história registada a primeira referência a minerais com estas propriedades é com Thales de Miletus cerca de 585 A.D., possivelmente provenientes da região da Grécia designada de Magnesia.
- ◆ Os efeitos dos campos magnéticos podem-se sentir a escalas planetárias, e são extremamente importantes para proteger a Terra do bombardeamento de partículas energéticas emanadas pelo Sol (vento solar), em particular durante os episódios de explosões solares (CMEs - Coronal Mass Ejections).

Triboeletricidade e indução elétrica

- ◆ A fricção de materiais diferentes é uma forma de criar cargas em excesso num material não-condutor (triboeletricidade)
 - Vidro + Seda → Carga Positiva no vidro + Negativa na seda
 - Borracha + Pêlo → Carga Negativa na Borracha + Positiva no pêlo
- ◆ A triboeletricidade resulta da maior apetência dos átomos duma substância se ligarem quimicamente com os electrões dos átomos de outra substância diferente com a qual entrem em contacto, a qual por sua vez pode ser mais ou menos resistente a doar os seus electrões. A fricção não é necessária para a adesão dos electrões, mas multiplica o efeito do contacto.
- ◆ Série Triboelétrica

	Absorve Electrões	Fornece Electrões	
Mais Negativo ↑	Ebonite	Espumas (poliuretano)	↑ Mais Positivo
	Silicone	Cabelos	
	Teflon	Pele oleosa	
	Silício	Nylon	
	PVC	Pele seca	
	Fita adesiva	Vidro	
	Plástico	Acrílico e Lucite	
	Poliéster	Couro	
	Borracha sintética	Pêlo de coelho	
	Acetato e Rayon	Quartzo	
	Ouro e Platina	Mica	
	Bronze e Prata	Chumbo	
	Enxofre	Pêlo de gato	
	Níquel e Cobre	Seda	
	Resinas	Alumínio	
	Âmbar	Papel	
	Madeira	Algodão	
	Aço (não carrega)	Lã (não carrega)	

Indução elétrica em condutores

- ◆ Ao aproximar um objeto carregado positivamente dum condutor isolado, as cargas negativas no condutor são atraídas para a região perto do objecto, deixando a descoberto iões positivos na região mais longínqua. Se esta consistir nas lâminas de um eletrometro, observa-se o afastamento destas devido à repulsão de cargas de sinal igual. A carga total do condutor mantém-se constante.
- ◆ Conversamente, se o objecto estiver carregado negativamente, ao aproximar-se de um condutor isolado as cargas negativas no condutor são repelidas pela proximidade de cargas do mesmo sinal no objecto, e afluem em excesso à região mais longínqua do condutor, ficando a região próxima do condutor com défice de eletrões, portanto com iões positivos. As lâminas dum eletrómetro na região onde as cargas negativas se acumularam também se afastam, mas a carga total do condutor mantém-se constante.
- ◆ Se em qualquer destas situações se ligar o condutor à terra (consistindo num corpo condutor muito maior que pode fornecer ou absorver qualquer quantidade de eletrões sem alterar grandemente o seu estado, ou seja um reservatório de cargas negativas) mantendo o objecto carregado na proximidade do condutor, então a região longínqua passa a ser o reservatório e é de lá ou para lá que fluem os eletrões atraídos ou afastados pelo objecto carregado. As lâminas de um eletróstato já não se afastam tanto por não haver um excesso de carga aí, quer positiva quer negativa.
- ◆ Contudo, se entretanto se romper a ligação à terra e depois se afastar o objecto carregado da vizinhança do condutor, verifica-se que este adquiriu ou perdeu carga negativa, respectivamente no primeiro ou segundo cenário, o que manifesta pela separação novamente das lâminas do eletrómetro ligado ao condutor.

Indução elétrica em isolantes

- ◆ No caso de materiais isolantes a vizinhança de um objeto carregado não provoca a migração de eletrões para perto ou longe da zona mais próxima do objeto, porque os eletrões não se movimentam facilmente nestes materiais. Contudo há um efeito de polarização ao nível atómico ou molecular que causa uma deformação na posição média normal dos eletrões nos orbitais atómicos e moleculares, criando pequenos dipolos à escala molecular que serão sempre atraídos pelo objeto carregado devido à maior proximidade das cargas de sinal oposto à do objeto. Este efeito minúsculo designa-se de polarização, mas como existem tantas moléculas as forças resultantes permitem observar uma nítida força atrativa do objeto carregado sobre materiais leves como pedaços de papel ou madeira de balsa, esferovite ou balões.

Revisão de conceitos e métodos de física

Vetores e álgebra vetorial

- ◆ Pode encontrar [nestas páginas](#) alguns dos conceitos de álgebra e cálculo vetorial requeridos para utilização nesta cadeira.

Cinemática e dinâmica

- ◆ A utilização de coordenadas cilíndricas e esféricas e sistemas de referência móveis a elas adaptados pode ser revista [nesta página](#) interativa.
- ◆ As fórmulas essenciais do cálculo diferencial em coordenadas [cilíndricas](#) e [esféricas](#) também pode aqui ser seguido.
- ◆ Recordar as definições de velocidade \vec{v} , aceleração \vec{a} , velocidade angular $\vec{\omega}$, aceleração angular $\vec{\alpha}$, momento linear \vec{p} , momento angular relativamente a um ponto \vec{L}_o e as regras de mudança de referenciais.

Forças, Trabalho e Energia

- ◆ Reveja os conceitos dados em mecânica para a relação entre forças e acelerações, momentos de força (binários ou torques) com as acelerações angulares e variações de momentos angulares.
- ◆ É importante relembrar os conceitos de Trabalho mecânico, Energia Cinética e o teorema Trabalho-Energia, Forças Conservativas e Potencial associado, Energia total e as Leis de Conservação e Equações de Continuidade.