FÍSICA

FRENTE: FÍSICA III

PROFESSOR(A): MARCOS HAROLDO

ASSUNTO: FORÇA ELÉTRICA

EAD – ITA/IME

AULAS 04 A 08

Resumo Teórico

Lei de Coulomb

Experiências de alta precisão mostram que a forma eletrostática entre duas cargas é proporcional ao produto das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas. As primeiras experiências que evidenciaram essa relação foram realizadas por H. Cavendish, entre 1771 e 1773, mas somente em 1785, Charles Augustin de **Coulomb** enunciou a lei que leva o seu nome, após realizar a clássica experiência com a balança de torção. Trata-se, portanto de uma lei **empírica**, que não admite demonstração. Um possível enunciado para esta lei segue:

"A força de Interação entre duas cargas elétricas pontuais em repouso é diretamente proporcional ao produto entre elas e inversamente proporcional ao quadrado da distância, atua ao longo da linha reta que as une e é repulsiva, se as cargas forem de mesmo sinal e atrativa, se forem de sinais contrários.

Uma carga pontual é uma distribuição de cargas que se dá em uma região de dimensões desprezíveis no problema.

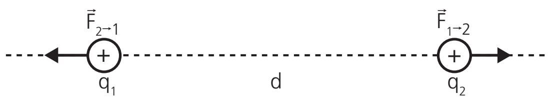
Uma forma de representar o enunciado anterior em uma expressão única é:

$$\boxed{|\vec{F}_{2\to1}| = |\vec{F}_{1\to2}| = K\frac{q_1 q_2}{d^2}\vec{e}_{1\to2}}$$

onde $\vec{F}_{1\to2}$ é a força que a carga 1 exerce sobre a carga 2 e $\vec{F}_{2\to1}$ é a força que a carga 2 exerce sobre a carga 1, q_1 e q_2 são os valores das cargas.

d é a distância entre elas.

k é uma constante de proporcionalidade.



➢ Representação esquemática das forças entre duas cargas pontuais.

A constante de proporcionalidade (constante eletrostática) depende do meio em que se encontram as cargas. No vácuo, esta constante é dada por:

$\boxed{k_0 = 9{,}0 \times 10^9\ \text{Nm}^2/\text{C}^2}$ no SI

A constante eletrostática está relacionada de forma simples com outra grandeza física, a permissividade elétrica absoluta ou simplesmente permissividade elétrica do meio em questão.

$$\boxed{k = \frac{1}{4\pi\varepsilon}}$$

Para o vácuo, a permissividade elétrica é:

$\boxed{\varepsilon_0 = 8{,}85 \times 10^{-12}\text{N}^{-1}\text{m}^{-2}\text{C}^2}$ no SI

Os outros meios são caracterizados por uma grandeza adimensional, denominada permissividade relativa ou constante dielétrica, definida como:

$$\boxed{K = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}}$$

A seguir, apresentamos alguns valores para a constante dielétrica:

Meio	Constante dielétrica
Vácuo	1,00000
Ar	1,00054
Água	78
Papel	3,5
Mica	5,4
Âmbar	2,7
Porcelana	6,0
Vidro Pirex	4,5
Poliestileno	2,3
Teflon	2,1
Cera	7,8
Querosene	2,0
Parafina	2,0
Álcool	26
Ebonite	2,7

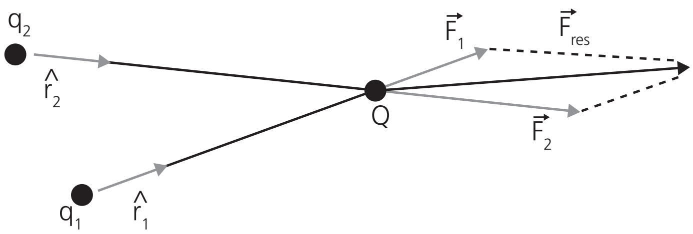
➢ Constante dielétrica de alguns meios dielétricos.

Observações:

- A constante dielétrica do ar é praticamente igual à do vácuo, o que nos permite resolver problemas no ar, usando as constantes do vácuo, com erros inferiores a 0,1%.
- Perceba que, em qualquer meio dielétrico, a força eletrostática entre duas cargas pontuais diminui. Este efeito deve-se precisamente ao fenômeno de **polarização** que se opõe ao campo elétrico, reduzindo a intensidade das interações eletrostáticas.
- As constantes dielétricas de compostos **polares** como a água e o álcool são visivelmente maiores do que as de materiais apolares como o querosene e a parafina. Como você explicaria este fato?

Princípio da Superposição

Sendo a força uma grandeza vetorial, devemos levar em conta este fato na expressão da força entre várias cargas elétricas. Por exemplo, se tivermos duas cargas, q_1 e q_2, produzindo uma força na carga **Q**, devemos calcular a força resultante através da soma vetorial das forças.



No caso de **N** cargas pontuais, devemos somar as **N** forças:

$$\vec{F}_{res} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \ldots + \vec{F}_N = \sum_{i=1}^{N} \vec{F}_i$$

Exercícios

01. Em dois pontos definidos pelos vetores $\vec{r}$ e $\vec{R}$ se encontrou cargas positivas q e Q, respectivamente. Determine o vetor posição $\vec{r}$. de uma carga q_0 para que a força resultante em cada carga seja igual a zero

A) $\vec{r}_o = \dfrac{Q\vec{r} + q\vec{R}}{q + Q}$

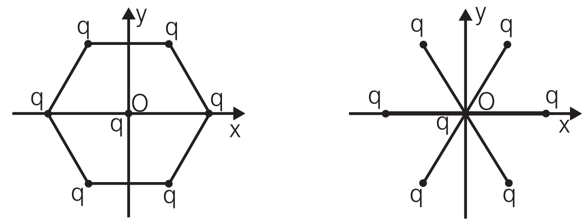
B) $\vec{r}_o = \dfrac{q\vec{r} + Q\vec{R}}{q + Q}$

C) $\vec{r}_o = \dfrac{\sqrt{q}\vec{r} + \sqrt{Q}\vec{R}}{\sqrt{q} + \sqrt{Q}}$

D) $\vec{r}_o = \dfrac{\sqrt{Q}\vec{r} + \sqrt{q}\vec{R}}{\sqrt{q} + \sqrt{Q}}$

E) $\vec{r}_o = \dfrac{\sqrt{Q^3}\vec{r} + \sqrt{q^3}\vec{R}}{\sqrt{Q^3} + \sqrt{q^3}}$

02. Determine a razão entre as trações nos dois casos da figura seguinte, sabendo que os sistemas estão em equilíbrio:



CASO 1 CASO 2

A) $\dfrac{T_2}{T_1} = \sqrt{3}$;

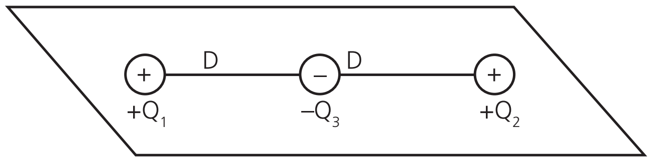
B) $\dfrac{T_2}{T_1} = \dfrac{1}{\sqrt{3}}$;

C) $\dfrac{T_2}{T_1} = 1$;

D) $\dfrac{T_2}{T_1} = 3$;

E) $\dfrac{T_2}{T_1} = \dfrac{1}{3}$.

03. Três cargas puntiformes, $+Q_1$, $+Q_2$ e $-Q_3$, encontram-se fixas e alinhadas em um plano horizontal sem atrito, como no esquema seguinte. Sabe-se que qualquer carga +q permanece em equilíbrio quando abandonada nesse plano horizontal, num certo ponto **P**, localizado a uma distância **D** de carga $-Q_3$.



A partir dessas informações, com base na Lei de Coulomb, pode-se concluir que:

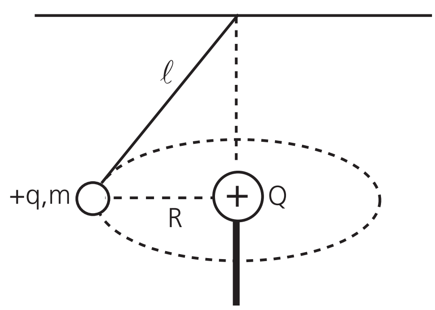
A) $\left(\dfrac{Q_1}{4Q_3}\right)^{\frac{2}{3}} + \left(\dfrac{Q_2}{4Q_3}\right)^{\frac{2}{3}} = 1$

B) $\left(\dfrac{Q_1}{2Q_2}\right)^{\frac{2}{3}} + \left(\dfrac{Q_2}{2Q_3}\right)^{\frac{2}{3}} = 1$

C) $\left(\dfrac{Q_1}{5Q_2}\right)^{\frac{1}{3}} + \left(\dfrac{-Q_2}{5Q_3}\right)^{\frac{2}{3}} = 1$

D) $\left(\dfrac{Q_1}{3Q_3}\right)^{\frac{2}{3}} + \left(\dfrac{Q_2}{3Q_3}\right)^{\frac{2}{3}} = 1$

04. Na montagem seguinte, a partícula P de massa **m** e carga positiva **q**, está suspensa por um fio inextensível de comprimento ℓ, de tal modo a descrever um movimento circular de raio constante R. No centro da trajetória circular existe uma carga +Q. Determine a velocidade do movimento circular em função de Q, **q**, **m**, ℓ, R, da aceleração da gravidade local **g** e da permissividade elétrica do ar ε_0.



05. Duas cargas iguais a +Q estão fixas e localizadas a uma distância **a**, uma da outra. Ao longo do eixo de simetria do sistema destas cargas, pode-se mover uma terceira carga – q que possui massa **m**. Considerando pequena distância da carga – q até a reta, que une as cargas +Q, o período de oscilações da carga – q é:

A) $T = \frac{\pi a}{2}\sqrt{\frac{m\pi\varepsilon_0 a}{Q \cdot q}}$

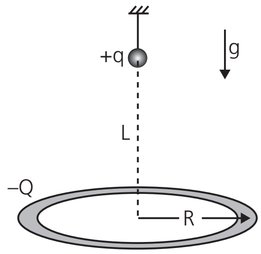
B) $T = \pi a\sqrt{\frac{2m\pi\varepsilon_0 a}{Q \cdot q}}$

C) $T = \pi a\sqrt{\frac{m\pi\varepsilon_0 a}{2Q \cdot q}}$

D) $T = 2\pi a\sqrt{\frac{m\pi\varepsilon_0 a}{Q \cdot q}}$

E) N.R.A.

06. Um pêndulo elétrico constituído por uma partícula de massa **m** e carga +q encontra-se suspensa no teto por um fio ideal isolante. A uma distância L abaixo dessa partícula encontra-se o centro de um aro circular de raio R uniformemente eletrizado com carga –Q. A gravidade local vale **g** e a constante eletrostática do meio vale K. Sabendo que o aro encontra-se levitando em equilíbrio conforme a figura, determine:



A) A massa do aro circular.
B) A tração no fio do pêndulo.

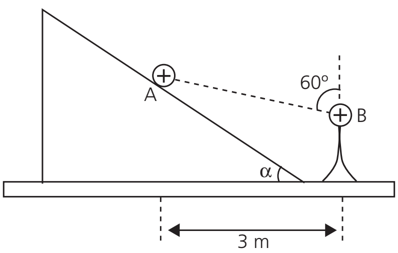
07. Partículas de poeira carregadas no espaço interestelar, todas de mesma massa e cada uma com excesso de **n** elétrons, formam uma nuvem esférica, estável e uniforme. Determine a massa de cada partícula.

Dados:
$\varepsilon_0 \rightarrow$ permissividade elétrica
G $\rightarrow$ Constante de Gravitação Universal
e $\rightarrow$ carga elementar

08. Duas cargas puntiformes **q**, iguais, estão separadas por uma distância 2b. Uma terceira carga **q** é obrigada a permanecer na mesma linha que une as anteriores. Mostrar que, se **x** é o deslocamento da terceira carga, a partir do ponto médio das outras duas, existe uma força de restituição para pequenos deslocamentos x << b, que é aproximadamente linear, isto é:

$$F = \frac{q^2 x}{\pi\varepsilon_0 b^3}$$

09. Uma pequena esfera A, de carga +Q e massa **m**, encontra-se em repouso nas proximidades de um plano inclinado, quando dela é aproximada lentamente uma segunda esfera B, de carga +Q, fixa sobre um suporte isolante.

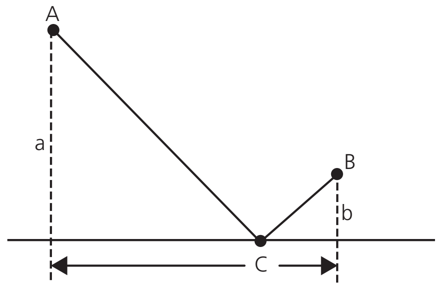


Devido à repulsão eletrostática, a esfera A desloca-se ao longo da rampa sem atrito, estacionando na posição ilustrada anteriormente. Determine o ângulo **α**.

Dados: Constante eletrostática = $9 \cdot 10^9$(SI)
$g = 10$ m/s² $Q = 2\mu C$, $m = 0{,}3$ g

10. Os pontos fixos A e B estão eletrizados com carga +Q cada um. Um terceiro ponto C, eletrizado com carga $-Q_0$ pode deslizar livremente sob a guia retilínea e horizontal, perfeitamente lisa. Verifica-se que o ponto C fica em equilíbrio quando o segmento $\overline{AC}$ é normal a $\overline{BC}$.

Demonstre que entre **a**, **b** e **c** verifica-se a relação $a^3 + b^3 = abc$.



11. O átomo de hidrogênio no modelo de Bohr é constituído de um elétron de carga e que se move em órbitas circulares de raio **r**, em torno do próton, sob a influência da força de atração coulombiana. O trabalho efetuado por esta força sobre o elétron ao percorrer a órbita do estado fundamental é:

A) $\frac{-e^2}{2\varepsilon_0 r}$

B) $\frac{e^2}{2\varepsilon_0 r}$

C) $\frac{-e^2}{4\pi\varepsilon_0 r}$

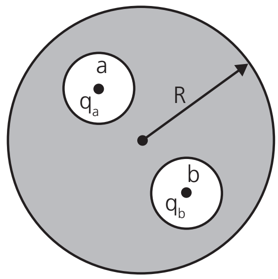
D) $\frac{e^2}{r}$

E) N.R.A.

12. Duas cavidades esféricas, de raios **a** e **b**, no interior de uma esfera condutora neutra, têm cargas $\mathbf{q_a}$ e $\mathbf{q_b}$, conforme mostra a figura.

Sabendo-se que a distância entre os centros das cavidades é $\frac{R}{2}$, determine o módulo da força entre as cargas $\mathbf{q_a}$ e $\mathbf{q_b}$.

Dado: ε_0 = permissividade elétrica



A) $F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_a \cdot q_b}{R^2}$

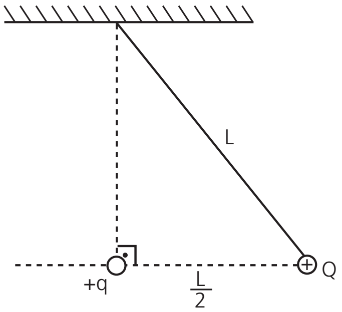
B) $F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_a \cdot q_b}{16R^2}$

C) $F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{4q_a \cdot q_b}{R^2}$

D) $F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_a \cdot q_b}{(a+b)^2}$

E) N.R.A.

13. A figura indica um pêndulo elétrico carregado com carga (+Q) mantido em equilíbrio através da fixação de certa carga (q) distribuída sobre uma pequena esfera. Através de determinado processo, aumenta-se continuamente o valor de **q**, até o instante em que o fio se mantenha na horizontal. Sendo P o peso da esfera do pêndulo, assinale a alternativa que corresponde à nova carga **q**' da esfera, supondo que o meio que envolve as cargas é o vácuo.



A) $q' = \dfrac{L^2 \cdot P}{4 \cdot K_0 \cdot Q}$

B) $q' = \dfrac{\sqrt{7} \cdot L^2 \cdot P}{4 \cdot K_0 \cdot Q \cdot \sqrt{3}}$

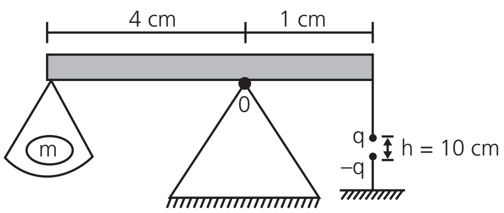
C) $q' = \dfrac{7\sqrt{7} \cdot L^2 \cdot P}{4 \cdot K_0 \cdot Q \cdot \sqrt{3}}$

D) $q' = \dfrac{7\sqrt{7} \cdot L^2 \cdot P}{4 \cdot K_0 \cdot Q}$

E) $q' = \dfrac{7 \cdot L^2 \cdot P}{4 \cdot K_0 \cdot Q \cdot \sqrt{3}}$

14. Nos vértices de um triângulo isósceles existem três cargas puntiformes fixas e iguais entre si. Calcular a relação entre a base **b** e a altura **h** do triângulo, para que qualquer carga colocada no ponto médio da altura fique em equilíbrio sob a ação das forças elétricas.

15. É dada uma balança de braços desiguais conforme a mostrada na figura, articulada em O.



O prato da balança é considerado sem massa, bem como os seus braços. Um corpo de massa m = 90 g é colocado no prato ao lado esquerdo da balança, e a distância **h** entre as cargas +q e –q é igual a 10 cm. Assinale a alternativa que corresponde ao valor da carga que mantém os braços da balança na horizontal:

A) 2 μC
B) 1 μC
C) 4 pC
D) 1 pC
E) 4 nC

Gabarito

01	02	03	04	05
D	C	A	–	E
06	**07**	**08**	**09**	**10**
–	–	–	–	–
11	**12**	**13**	**14**	**15**
E	E	C	–	A

– Demonstração.

Anotações

SUPERVISOR/DIRETOR: MARCELO PENA – AUTOR: MARCOS HAROLDO
DIG.: SAMUEL – REV.: LÍCIA