

Física 3 (EMB5043): Lei de Coulomb

MATERIAL DE APOIO PARA CURSO PRESENCIAL

RESOLUÇÃO DE EXERCÍCIOS

Prof. Diego Alexandre Duarte
Universidade Federal de Santa Catarina | Centro Tecnológico de Joinville



UNIVERSIDADE FEDERAL
DE SANTA CATARINA

Sumário

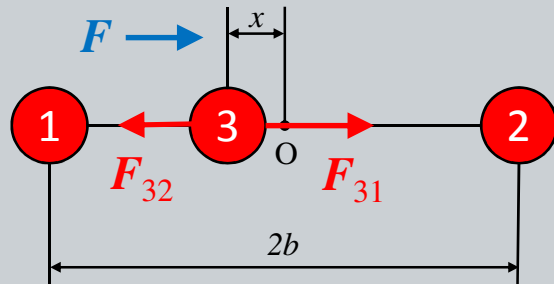
- Material para estudos
- Problema 2
- Problema 6
- Problema 9
- Problema 11

Material para estudos

- Capítulo 21 do Halliday volume 3 e capítulo 2 do Moysés volume 3
- Estudar os problemas da Lista 1 que está disponível em diegoduarte.paginas.ufsc.br.

Resolução de problemas

LISTA 1, PROBLEMA 2



Na figura acima, a carga 3 está a uma distância x da mediana do segmento (ponto O, definida como a origem do eixo) e sofre a atuação das forças de repulsão exercidas pelas cargas 1 (F_{31}) e 2 (F_{32}). Como a carga 2 está mais longe, a força F_{32} é menor.

A força resultante sobre a carga 3 é dada por:

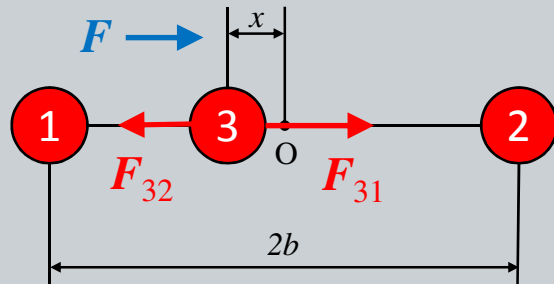
$$\vec{F} = \vec{F}_{31} + \vec{F}_{32}$$
$$F = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0(b-x)^2} - \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0(b+x)^2} \quad (1)$$

Retiramos a notação vetorial da equação (1), pois trata-se de um problema unidimensional. Assim:

$$F = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{1}{(b-x)^2} - \frac{1}{(b+x)^2} \right]$$
$$F = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{(b^2 + 2bx + x^2) - (b^2 - 2bx + x^2)}{(b-x)^2(b+x)^2} \right]$$

Resolução de problemas

LISTA 1, PROBLEMA 2



Na figura acima, a carga 3 está uma distância x da mediana do segmento (ponto O, definida como a origem do eixo) e sofre a atuação das forças de repulsão exercidas pelas cargas 1 (F_{31}) e 2 (F_{32}). Como a carga 2 está mais longe, a força F_{32} é menor.

o que fornece:

$$F = \frac{q^2}{\pi\epsilon_0} \left[\frac{bx}{(b-x)^2(b+x)^2} \right] \quad (2)$$

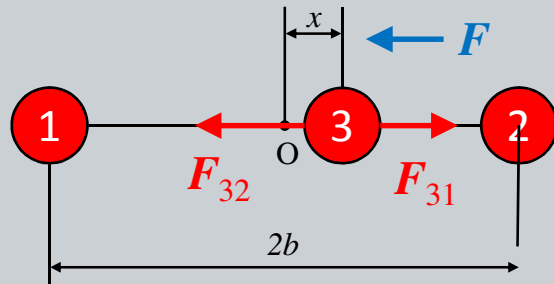
A equação (2) representa a força total sobre a carga 3. Considerando apenas pequenos deslocamentos em torno da mediana ($x \ll b$), a equação (2) fica:

$$F \approx \frac{q^2}{\pi\epsilon_0} \left[\frac{bx}{b^4} \right] \approx \frac{q^2}{\pi\epsilon_0 b^3} x \quad (3)$$

A equação (3) mostra que a força está no sentido positivo do eixo, *i.e.*, oposta ao deslocamento x . Ao realizar a mesma análise com o deslocamento x no sentido positivo do eixo, temos:

Resolução de problemas

LISTA 1, PROBLEMA 2



Na figura acima, a carga 3 está a uma distância x da mediana do segmento (ponto O, definida como a origem do eixo) e sofre a atuação das forças de repulsão exercidas pelas cargas 1 (F_{31}) e 2 (F_{32}). Como a carga 2 está mais longe, a força F_{32} é menor.

$$F \approx -\frac{q^2}{\pi\epsilon_0} \left[\frac{bx}{b^4} \right] \approx -\frac{q^2}{\pi\epsilon_0 b^3} x \quad (4)$$

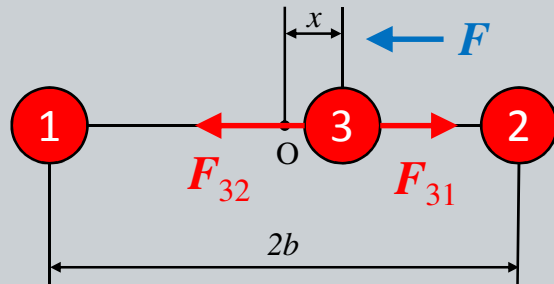
indicando que a força F aponta no sentido negativo do eixo e, novamente, oposto ao deslocamento da carga 3. Os resultados (3) e (4) mostram que esta força tem natureza restauradora, *i.e.*, tenta restaurar o equilíbrio do sistema na tentativa de posicionar a carga 3 na origem. Na forma geral, podemos escrever as soluções (3) e (4) como uma única equação:

$$F \approx -kx \text{ com } k = \frac{q^2}{\pi\epsilon_0 b^3} \quad (4)$$

em que $x > 0$ fornece $F < 0$ e $x < 0$ fornece $F > 0$ e k uma constante análoga a constante elástica da lei de Hooke.

Resolução de problemas

LISTA 1, PROBLEMA 2



Na figura acima, a carga 3 está a uma distância x da mediana do segmento (ponto O, definida como a origem do eixo) e sofre a atuação das forças de repulsão exercidas pelas cargas 1 (F_{31}) e 2 (F_{32}). Como a carga 2 está mais longe, a força F_{32} é menor.

Note, portanto, que a carga 3 está sob atuação de uma espécie de *força elástica* que pode ser descrita com a lei de Hooke. Com a equação (4) podemos até calcular a frequência de oscilação desta carga. Com a segunda lei de Newton,

$$F = ma = m \frac{d^2 x}{dt^2}$$

em que a força resultante é descrito por (4):

$$-\frac{q^2}{\pi \epsilon_0 b^3} x = m \frac{d^2 x}{dt^2}$$

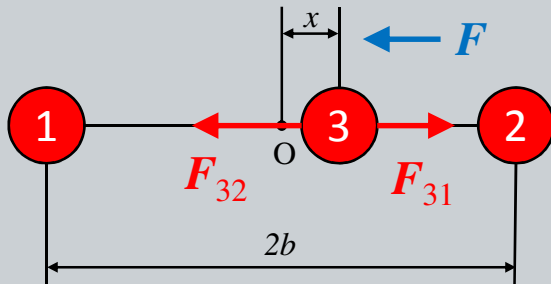
logo:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \left(\frac{q^2}{\pi \epsilon_0 m b^3} \right) x = 0$$

mostrando que a carga 3 está em MHS, onde o termo entre parênteses representa ω^2 . A partir dele, obtemos a frequência natural de oscilação:

Resolução de problemas

LISTA 1, PROBLEMA 2



Na figura acima, a carga 3 está a uma distância x da mediana do segmento (ponto O, definida como a origem do eixo) e sofre a atuação das forças de repulsão exercidas pelas cargas 1 (F_{31}) e 2 (F_{32}). Como a carga 2 está mais longe, a força F_{32} é menor.

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{q^2}{\pi\epsilon_0 m b^3}} \quad (5)$$

Considerando que essas cargas são prótons e que $b = 10 \text{ nm}$, temos:

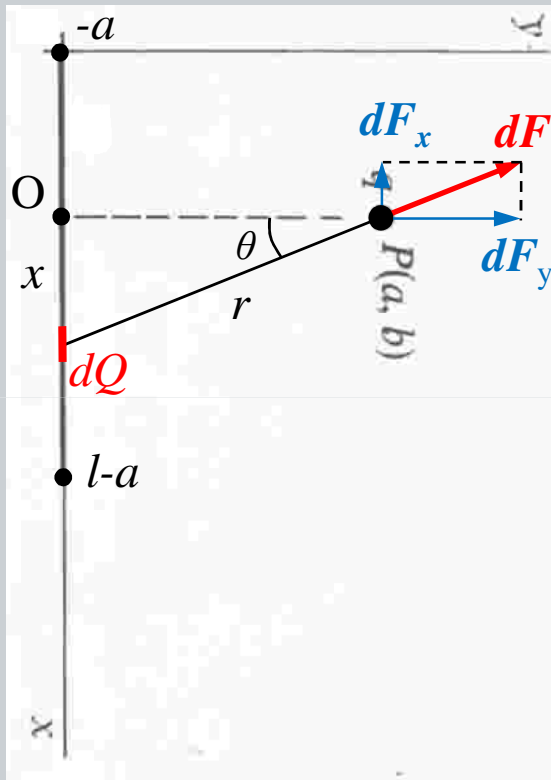
$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{(1,60 \times 10^{-19})^2}{\pi\epsilon_0 (1,67 \times 10^{-27})(10 \times 10^{-9})^3}} = 118 \text{ GHz}$$

Este resultado mostra que o próton oscila em torno de 10^{11} vezes por segundo!

Você pode utilizar os mesmos passos para resolver o exercício 8 ;)

Resolução de problemas

LISTA 1, PROBLEMA 6 – Item (a)



A figura foi rotacionada 90°. Assim, podemos utilizar o mesmo procedimento do fio infinito!

A origem foi redefinida, conforme mostra a figura. Em relação ao novo ponto O, o comprimento do fio está no intervalo fechado $[-a, l-a]$. O elemento dQ produz uma força elétrica dF sobre a carga q que possui as seguintes componentes (**1º passo**):

$$dF_x = \frac{qdQ}{4\pi\epsilon_0 r^2} \sin \theta$$

$$dF_y = \frac{qdQ}{4\pi\epsilon_0 r^2} \cos \theta$$

O 2º passo não precisa ser executado, pois o exercício solicita apenas as componentes de força.

em que:

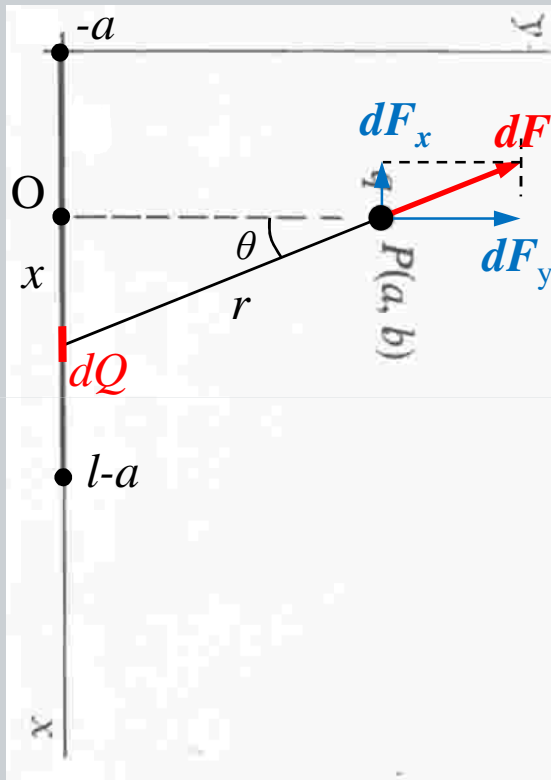
$$\sin \theta = \frac{x}{r}, \quad \cos \theta = \frac{b}{r} \quad \text{e} \quad r = \sqrt{x^2 + b^2}$$

Logo:

$$dF_x = \frac{qxdQ}{4\pi\epsilon_0 (x^2 + b^2)^{3/2}} \quad \text{e} \quad dF_y = \frac{qbdQ}{4\pi\epsilon_0 (x^2 + b^2)^{3/2}}$$

Resolução de problemas

LISTA 1, PROBLEMA 6 – Item (a)



A figura foi rotacionada 90°. Assim, podemos utilizar o mesmo procedimento do fio infinito!

Substituindo dQ em função da densidade linear de carga λ e da variável independente do exercício (x), temos (3º passo):

$$dF_x = \frac{q\lambda x dx}{4\pi\epsilon_0 (x^2 + b^2)^{3/2}} \quad \text{e} \quad dF_y = \frac{qb\lambda dx}{4\pi\epsilon_0 (x^2 + b^2)^{3/2}} \quad (1)$$

Para integrar essas duas equações, vamos aplicar a troca de variável:

$$x = b \tan \alpha \quad \therefore \quad dx = b (\sec \alpha)^2 d\alpha$$

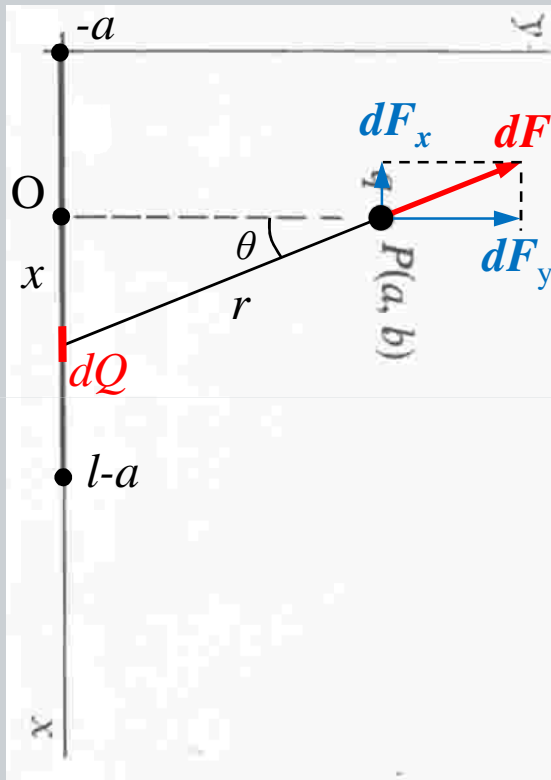
Logo,

$$F_x = \frac{q\lambda}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{x dx}{(x^2 + b^2)^{3/2}} = \frac{q\lambda}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{b^2 \tan \alpha (\sec \alpha)^2 d\alpha}{[(b \tan \alpha)^2 + b^2]^{3/2}}$$

$$F_y = \frac{qb\lambda}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{dx}{(x^2 + b^2)^{3/2}} = \frac{qb\lambda}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{b (\sec \alpha)^2 d\alpha}{[(b \tan \alpha)^2 + b^2]^{3/2}}$$

Resolução de problemas

LISTA 1, PROBLEMA 6 – Item (a)



A figura foi rotacionada 90°. Assim, podemos utilizar o mesmo procedimento do fio infinito!

Considerando $(\tan \alpha)^2 + 1 = (\sec \alpha)^2$, colocando b em evidência e realizando as simplificações necessárias:

$$F_x = \frac{q\lambda}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{b^2 \tan \alpha (\sec \alpha)^2 d\alpha}{b^3 [(\tan \alpha)^2 + 1]^{3/2}} = \frac{q\lambda}{4\pi\epsilon_0 b} \int \frac{\tan \alpha (\sec \alpha)^2 d\alpha}{[(\sec \alpha)^2]^{3/2}}$$

$$F_y = \frac{qb\lambda}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{b (\sec \alpha)^2 d\alpha}{b^3 [(\tan \alpha)^2 + 1]^{3/2}} = \frac{q\lambda}{4\pi\epsilon_0 b} \int \frac{(\sec \alpha)^2 d\alpha}{[(\sec \alpha)^2]^{3/2}}$$

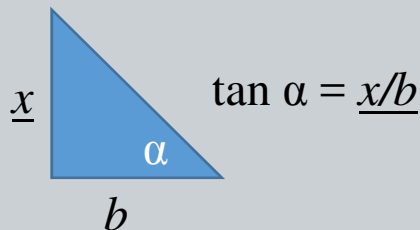
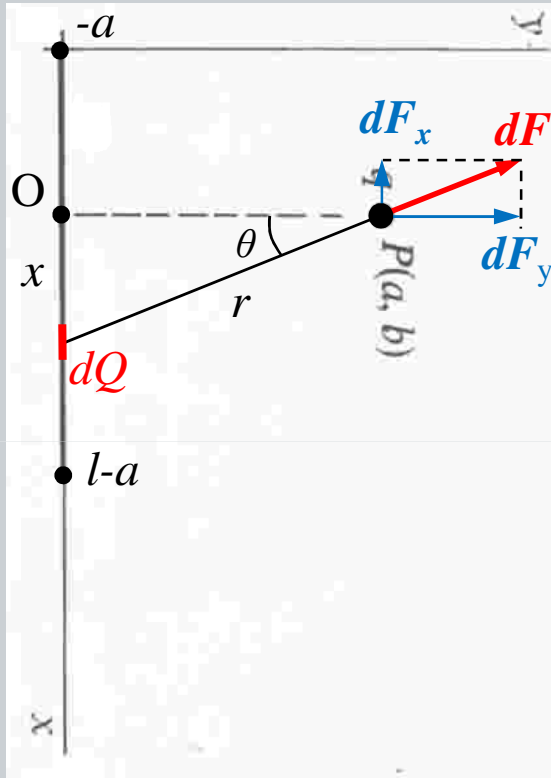
obtemos:

$$F_x = \frac{q\lambda}{4\pi\epsilon_0 b} \int \frac{\tan \alpha d\alpha}{\sec \alpha} = \frac{q\lambda}{4\pi\epsilon_0 b} \int \sin \alpha d\alpha$$

$$F_y = \frac{q\lambda}{4\pi\epsilon_0 b} \int \frac{d\alpha}{\sec \alpha} = \frac{q\lambda}{4\pi\epsilon_0 b} \int \cos \alpha d\alpha$$

Resolução de problemas

LISTA 1, PROBLEMA 6 – Item (a)



Ao resolver as integrais,

$$F_x = \frac{q\lambda}{4\pi\epsilon_0 b} \int \sin \alpha d\alpha = -\frac{q\lambda}{4\pi\epsilon_0 b} \cos \alpha$$

$$F_y = \frac{q\lambda}{4\pi\epsilon_0 b} \int \cos \alpha d\alpha = \frac{q\lambda}{4\pi\epsilon_0 b} \sin \alpha$$

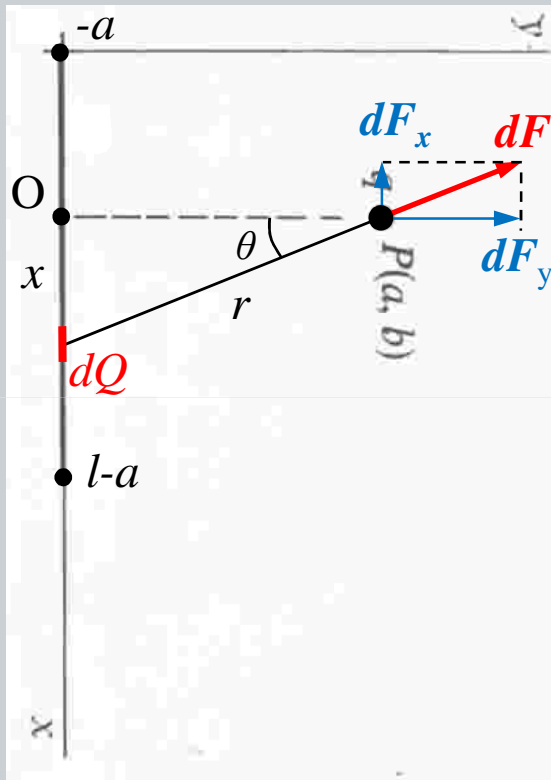
precisamos retornar para a variável original e aplicar os limitantes da figura ao lado. Para isso, vamos utilizar o triângulo retângulo ao lado:

$$F_x = -\frac{q\lambda}{4\pi\epsilon_0 b} \cos \alpha = -\frac{q\lambda}{4\pi\epsilon_0 b} \frac{b}{\sqrt{x^2 + b^2}} \Bigg|_{-a}^{l-a}$$

$$F_y = \frac{q\lambda}{4\pi\epsilon_0 b} \sin \alpha = \frac{q\lambda}{4\pi\epsilon_0 b} \frac{x}{\sqrt{x^2 + b^2}} \Bigg|_{-a}^{l-a}$$

Resolução de problemas

LISTA 1, PROBLEMA 6 – Item (a)



que fornece:

$$F_x = \frac{q\lambda}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{\sqrt{a^2 + b^2}} - \frac{1}{\sqrt{(l-a)^2 + b^2}} \right)$$

$$F_y = \frac{q\lambda}{4\pi\epsilon_0 b} \left(\frac{l-a}{\sqrt{(l-a)^2 + b^2}} + \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}} \right)$$

Para calcular a força resultante, basta escrever:

$$\vec{F} = F_x \hat{i} + F_y \hat{j}$$

A figura foi rotacionada 90°.
Assim, podemos utilizar o mesmo
procedimento do fio infinito!

Resolução de problemas

LISTA 1, PROBLEMA 6 – Item (b)

Para um fio infinito, $x \rightarrow \infty$ nas soluções gerais. Assim:

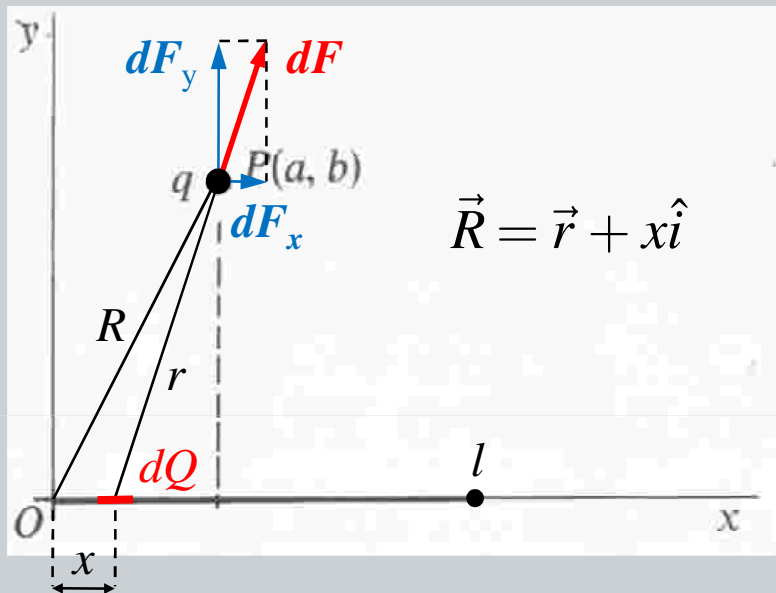
$$F_x = -\frac{q\lambda}{4\pi\epsilon_0 b} \frac{b}{\sqrt{x^2 + b^2}} \Bigg|_{-\infty}^{+\infty} = 0$$
$$F_y = \frac{q\lambda}{4\pi\epsilon_0 b} \frac{x}{\sqrt{x^2 + b^2}} \Bigg|_{-\infty}^{+\infty} = \frac{q\lambda}{2\pi\epsilon_0 b}$$

Força que um fio infinito aplica sobre uma carga pontual.

Note que a componente x é zero, como deveria ser.

Resolução de problemas

LISTA 1, PROBLEMA 6 – Item (a) – MÉTODO 2



Pela relação entre R , r e x na figura acima, temos:

$$\vec{r} = \vec{R} - x\hat{i} = (a - x)\hat{i} + b\hat{j}$$

$$r = \sqrt{(a - x)^2 + b^2}$$

Neste caso, não iremos mudar a origem de posição. A força $d\vec{F}$ que dQ exerce sobre q é dada por:

$$d\vec{F} = \frac{qdQ}{4\pi\epsilon_0 r^2} \hat{r} = \frac{qdQ}{4\pi\epsilon_0 r^3} \vec{r}$$

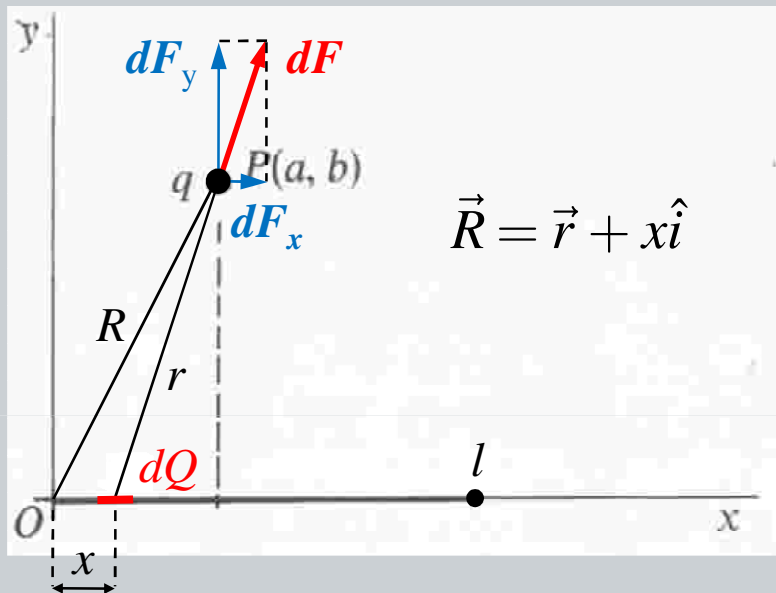
Substituindo o vetor $\vec{r}$ e seu módulo na equação acima, e considerando $dQ = \lambda dx$, temos:

$$d\vec{F} = \frac{q\lambda dx}{4\pi\epsilon_0 [(a - x)^2 + b^2]^{3/2}} (a - x)\hat{i} + b\hat{j}$$

com x definido no intervalo $[0, l]$. Essa equação representa o elemento de força total. Com ela obtemos as componentes nos eixos x e y :

Resolução de problemas

LISTA 1, PROBLEMA 6 – MÉTODO 2 – Item (a)



$$dF_x = \frac{q\lambda(a-x)dx}{4\pi\epsilon_0 \left[(a-x)^2 + b^2 \right]^{3/2}} \quad (1)$$

$$dF_y = \frac{q\lambda b dx}{4\pi\epsilon_0 \left[(a-x)^2 + b^2 \right]^{3/2}}$$

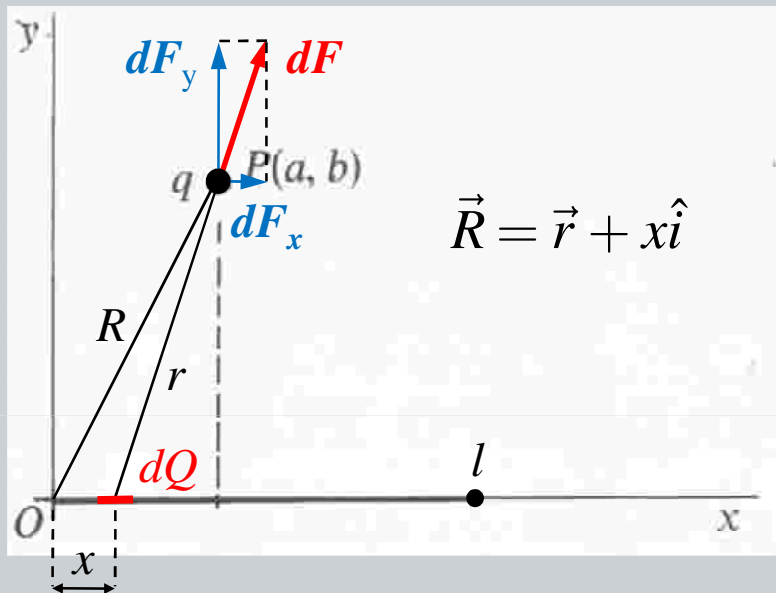
Para obter as componentes, basta integrar as equações (11). Para simplificar, considere a substituição $u = a - x$ e $du = -dx$:

$$dF_x = \frac{-q\lambda u du}{4\pi\epsilon_0 (u^2 + b^2)^{3/2}} \quad (2)$$

$$dF_y = \frac{-q\lambda b du}{4\pi\epsilon_0 (u^2 + b^2)^{3/2}}$$

Resolução de problemas

LISTA 1, PROBLEMA 6 – MÉTODO 2 – Item (a)



Repare que a estrutura do conjunto de equações (2) é igual ao apresentado pelo conjunto (1) no primeiro método de resolução (slide 10). Logo, o resultado da integral é:

$$F_x = \frac{-q\lambda}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{udu}{(u^2 + b^2)^{3/2}} = \frac{q\lambda}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{\sqrt{u^2 + b^2}}$$

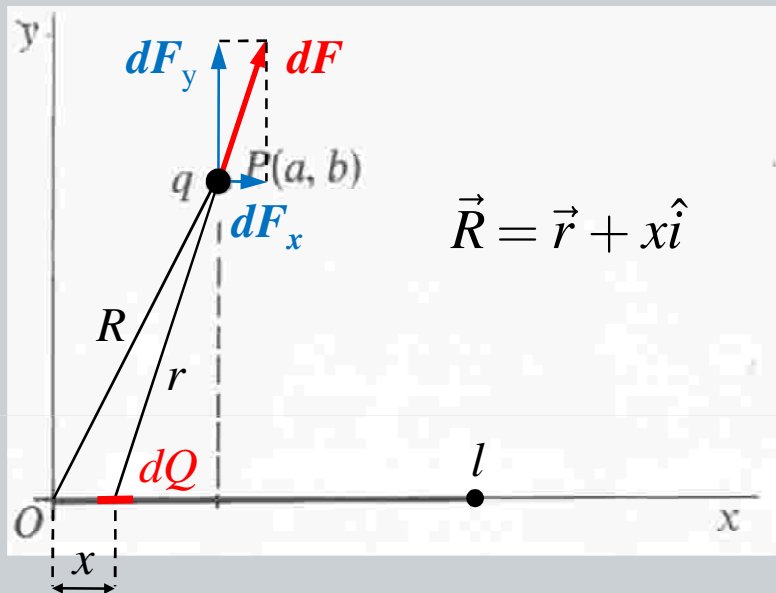
$$F_y = \frac{-q\lambda b}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{du}{(u^2 + b^2)^{3/2}} = \frac{-q\lambda}{4\pi\epsilon_0 b} \frac{u}{\sqrt{u^2 + b^2}}$$

Retornando para a variável original, temos:

$$F_x = \frac{q\lambda}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{\sqrt{u^2 + b^2}} = \frac{q\lambda}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{\sqrt{(a-x)^2 + b^2}} \Big|_0^l \quad \text{e} \quad F_y = \frac{-q\lambda}{4\pi\epsilon_0 b} \frac{u}{\sqrt{u^2 + b^2}} = \frac{-q\lambda}{4\pi\epsilon_0 b} \frac{(a-x)}{\sqrt{(a-x)^2 + b^2}} \Big|_0^l$$

Resolução de problemas

LISTA 1, PROBLEMA 6 – MÉTODO 2 – Item (a)



o que fornece:

$$F_x = \frac{-q\lambda}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{\sqrt{a^2 + b^2}} - \frac{1}{\sqrt{(a-l)^2 + b^2}} \right)$$

$$F_y = \frac{q\lambda}{4\pi\epsilon_0 b} \left(\frac{l-a}{\sqrt{(a-l)^2 + b^2}} + \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}} \right)$$

Observem que existem algumas pequenas diferenças nos resultados entre este método e o anterior:

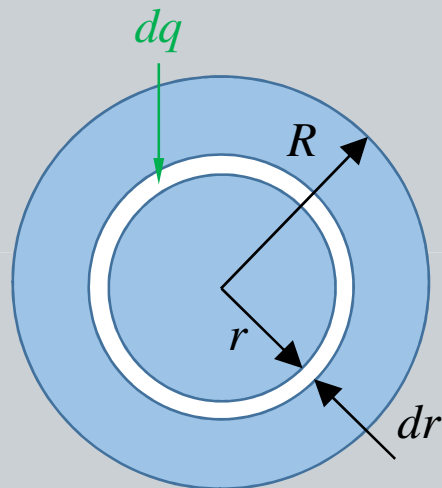
- Aqui, a componente x é negativa. Isso é porque consideramos F_x inicialmente na coordenada $+i$ (vide diagrama). No primeiro método, F_x é positivo e lá consideramos no sentido $-i$. Assim, constatamos que o sentido real desse vetor é $-i$. Isso faz sentido, pois, pela figura, a maior quantidade de carga está à direita do ponto P .
- O termo $(a-l)^2$ aqui apresentado é igual ao termo $(l-a)^2$ apresentado no primeiro método devido o expoente quadrático.

Resolução de problemas

LISTA 1, PROBLEMA 9

Uma carga de raio R possui densidade volumétrica de carga ρ dada por:

$$\rho = K \frac{e^{-ar}}{r^2} = \frac{dq}{dV}$$



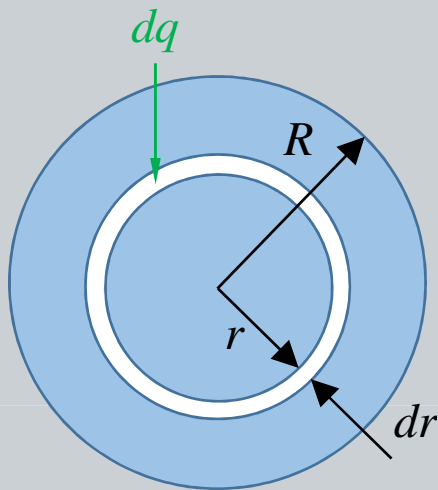
em que dq é a carga contida num elemento dV desta esfera, representado em branco na figura ao lado. Logo, para obter a carga total, basta integrar a densidade de carga em todo o volume da esfera:

$$q = \int_V K \frac{e^{-ar}}{r^2} dV = K \int_V \frac{e^{-ar}}{r^2} dV$$

O elemento de volume dV pode ser obtido com base na figura ao lado. A região branca é uma casca esférica de raio médio r e espessura dr . O seu volume é a área da superfície (área de uma esfera: $4\pi r^2$) multiplicado pela espessura dr .

Resolução de problemas

LISTA 1, PROBLEMA 9



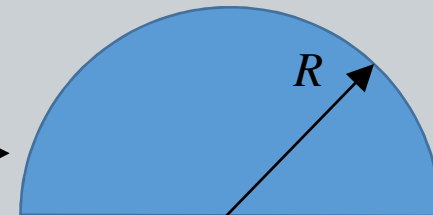
Logo:

$$q = 4\pi K \int_0^R \frac{e^{-ar}}{r^2} r^2 dr = -4\pi K \frac{e^{-ar}}{a} \Big|_0^R = -\frac{4\pi K}{a} (e^{-aR} - 1)$$

Como o exercício solicita a carga em apenas um hemisfério, dividimos o resultado por 2:

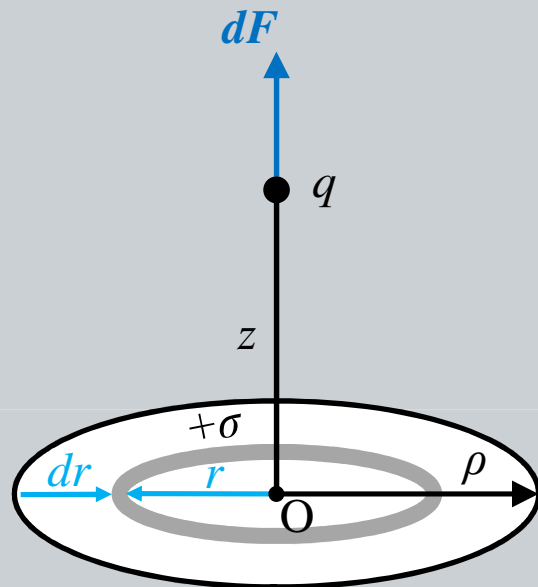
$$q = \frac{2\pi K}{a} (1 - e^{-aR})$$

Carga total para
meia esfera



Resolução de problemas

LISTA 1, PROBLEMA 11 – Item (a)



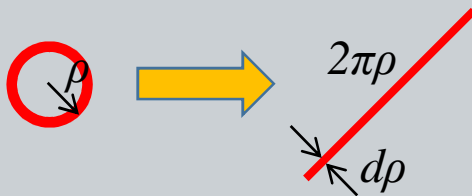
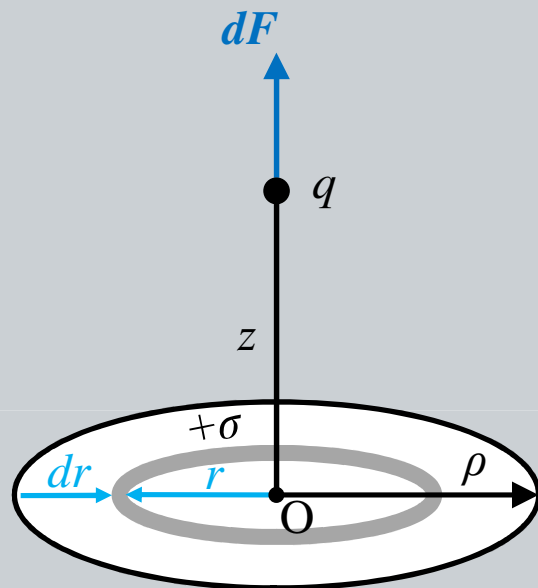
Neste cálculo vamos considerar que o disco é formado por infinitos anéis concêntricos. Vamos aplicar o **1º passo** para um destes anéis que possui carga dQ (região sombreada da figura ao lado). A força elétrica é representada pela equação que calculamos em sala para um anel circular:

$$dF = \frac{zq dQ}{4\pi\epsilon_0 (r^2 + z^2)^{3/2}} \quad (1)$$

em $D = z$ e $\rho = r$ na equação que obtivemos em sala. Note que neste caso o anel de largura infinitesimal dr possui carga infinitesimal dQ . O disco possui a carga total Q . Ao realizar este procedimento, concluímos também o 2º passo, pois dF é parte da força elétrica resultante.

Resolução de problemas

LISTA 1, PROBLEMA 11 – Item (a)



Para calcular a força total, precisamos integrar esta equação em relação ao raio r (**3º passo**):

$$F = \int \frac{zq dQ}{4\pi\epsilon_0 (r^2 + z^2)^{3/2}} = \int \frac{zq\sigma dA}{4\pi\epsilon_0 (r^2 + z^2)^{3/2}}$$

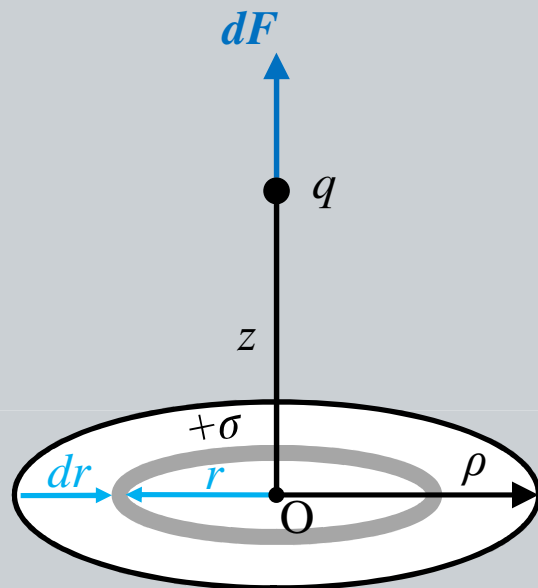
em que $\sigma = dQ/dA$ é a densidade superficial de carga. O elemento dA representa a área superficial do anel de largura infinitesimal dr . Assim, $dq = \sigma dA = \sigma 2\pi r dr$:

$$F = \int \frac{zq\sigma 2\pi r dr}{4\pi\epsilon_0 (r^2 + z^2)^{3/2}} \quad (2)$$

*Obs.: Para escrever $dA = 2\pi r dr$ transforme o anel num segmento de comprimento $2\pi r$ e espessura dr . A área dessa reta é o produto da base e a altura, logo obtemos $2\pi r dr$.

Resolução de problemas

LISTA 1, PROBLEMA 11 – Item (a)



Para obter a força elétrica resultante, basta integrar a equação (2):

$$F = \frac{zq\sigma}{2\varepsilon_0} \int_0^{\rho} \frac{rdr}{(r^2 + z^2)^{3/2}} \quad (3)$$

A integração é feita mediante a troca de variáveis:

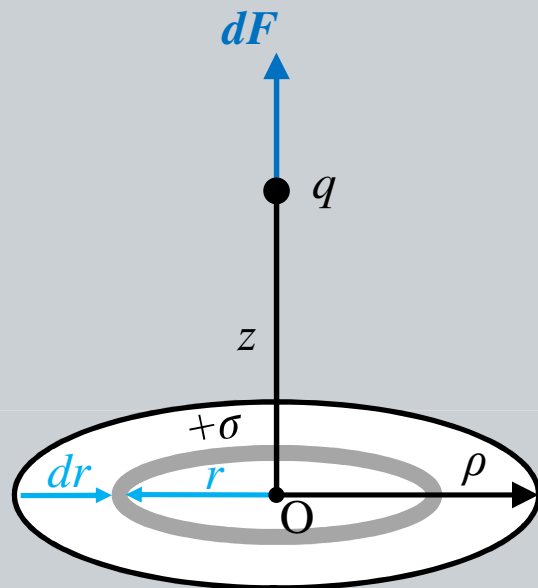
$$\begin{aligned} r &= z \tan \alpha \\ dr &= z(\sec \alpha)^2 d\alpha \end{aligned} \quad (4)$$

Substituindo as relações (4) em (3), temos:

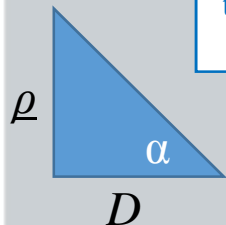
$$E = \frac{zq\sigma}{2\varepsilon_0} \int_0^a \frac{z^2 \tan \alpha (\sec \alpha)^2 d\alpha}{[(z \tan \alpha)^2 + z^2]^{3/2}} = \frac{q\sigma}{2\varepsilon_0} \int_0^a \frac{\tan \alpha (\sec \alpha)^2 d\alpha}{[(\tan \alpha)^2 + 1]^{3/2}}$$

Resolução de problemas

LISTA 1, PROBLEMA 11 – Item (a)



Use o triângulo para transformar $\cos \alpha$ na variável original do problema.



$$\tan \alpha = \underline{\rho}/D$$

em que $(\tan \alpha)^2 + 1 = (\sec \alpha)^2$. Assim:

$$F = \frac{q\sigma}{2\varepsilon_0} \int_0^\rho \frac{\tan \alpha (\sec \alpha)^2 d\alpha}{(\sec \alpha)^3} = \frac{q\sigma}{2\varepsilon_0} \int_0^\rho \frac{\tan \alpha d\alpha}{\sec \alpha}$$

$$F = \frac{q\sigma}{2\varepsilon_0} \int_0^\rho \sin \alpha d\alpha = -\frac{q\sigma}{2\varepsilon_0} \cos \alpha \Big|_0^\rho = -\frac{q\sigma}{2\varepsilon_0} \frac{z}{\sqrt{\rho^2 + z^2}} \Big|_0^\rho$$

$$(5) \quad F = \frac{q\sigma}{2\varepsilon_0} \left(1 - \frac{z}{\sqrt{\rho^2 + z^2}} \right)$$

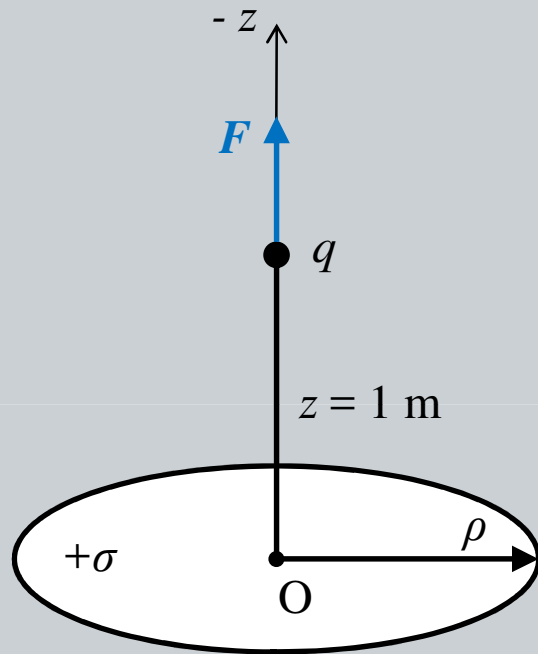
Força elétrica aplicada pelo disco circular sobre a carga q

Particularidades do resultado:

- Se $\rho = 0$, $F = 0$, pois não existe o disco.
- Se $z \ll \rho$, $E = q\sigma/2\varepsilon_0$. Isso significa que a força elétrica é constante para distâncias muito próximas da superfície do disco.

Resolução de problemas

LISTA 1, PROBLEMA 11 – Item (a)



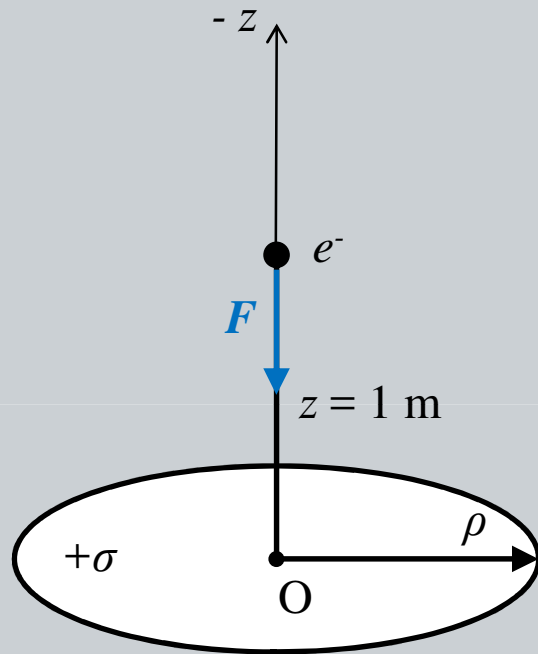
O enunciado do exercício comenta que o disco está na coordenada $z = 1 \text{ m}$ e a carga é colocada na origem. Podemos utilizar a figura ao lado, considerando que o ponto O está em $z = 1 \text{ m}$ e a carga na origem. Isso não muda em nada o cálculo do módulo da força; entretanto, devemos ter em mente que F tem sentido negativo no eixo z , já que a carga sofre uma força de repulsão. O módulo é:

$$F = \frac{(30 \times 10^{-6})(200 \times 10^{-12})}{2\epsilon_0} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1^2 + 1^2}} \right) = 99,3 \text{ } \mu\text{N}$$

em que $1/2\epsilon_0 \approx 5,65 \times 10^{10} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$.

Resolução de problemas

LISTA 1, PROBLEMA 11 – Item (b)



Se um elétron ocupar a posição da carga teste, sua aceleração será:

$$F = 5,3 \times 10^{-19} = ma = (9,11 \times 10^{-31})a$$

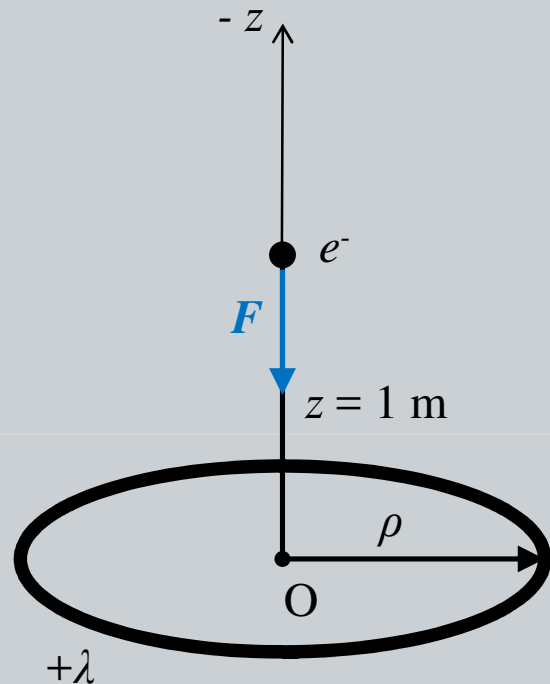
$$a = \frac{5,3 \times 10^{-19}}{9,11 \times 10^{-31}} = 5,8 \times 10^{11} \text{ m/s}^2$$

no sentido positivo do eixo z , *i.e.*, haverá uma colisão frontal com o disco. A intensidade da força F para um elétron foi calculada com a equação (5).

DESAFIO: Considerando o problema no vácuo, você consegue calcular a velocidade que o elétron teria antes de colidir com o disco? Qual o percentual desse valor em relação à velocidade da luz? Faz sentido analisá-lo com a mecânica newtoniana?

Resolução de problemas

LISTA 1, PROBLEMA 11 – Item (c)



No caso do aro, a força é calculada com a equação (1):

$$F = \frac{zqQ}{4\pi\epsilon_0(\rho^2 + z^2)^{3/2}} = \frac{zq(\lambda 2\pi\rho)}{4\pi\epsilon_0(\rho^2 + z^2)^{3/2}}$$

$$F = \frac{zq\lambda\rho}{2\epsilon_0(\rho^2 + z^2)^{3/2}} = \frac{(1)(1,6 \times 10^{-19})(200 \times 10^{-12})(1)}{2\epsilon_0(2)^{3/2}}$$

$$F = 6,4 \times 10^{-19} \text{ N}$$

O elétron é atraído para o ponto O. Ao passar por este ponto, a força F muda o sentido, desacelerando a carga e acelerando-a novamente para o ponto. A partícula entra em MHS. Entretanto, se a partícula é inicialmente posicionada no ponto O, a força resultante é zero (você consegue provar?) e a partícula fica em repouso, porém qualquer perturbação sobre ela ao longo do eixo z fará surgir uma força elétrica que atuará como uma força restauradora que tentará colocar a partícula continuamente no ponto O, similar ao exemplo do problema 2. Assim, o ponto O é de equilíbrio estável. No disco, não existe ponto de equilíbrio.

Dúvidas?

diego.duarte@ufsc.br

Skype: diego_a_d

Encontrou algum erro nesta aula? Me informe via e-mail ;)



UNIVERSIDADE FEDERAL
DE SANTA CATARINA