Universidade Federal do Rio de Janeiro
Instituto de Física
Física III – 2010/2
Primeira Prova (P1) – 21/10/2010
Versão: $\boxed{\text{A}}$

Aluno: ______________________

Assinatura: ______________________

DRE: ______________________

Professor: ______________________

Turma: ______________________

| Seção | Nota original | Iniciais | Nota de revisão |
|---|---|---|---|
| **Parte objetiva (total)** | | | |
| **Parte discursiva: Questão 1** | | | |
| **Parte discursiva: Questão 2** | | | |
| **Total** | | | |

---

**INSTRUÇÕES: LEIA COM CUIDADO!**

1. Preencha *correta, legível e totalmente* os campos em branco (Aluno, Assinatura, DRE, Professor e Turma) do cabeçalho acima. Sem isso, a correção de sua prova poderá ficar prejudicada!
2. A prova constitui-se de duas partes:
   - uma parte objetiva, perfazendo um total de 5,0 pontos, consitutída por dez (10) questões objetivas (de múltipla escolha), cada uma das quais valendo 0,5 ponto, sem penalização por questão errada.
   - uma parte discursiva, perfazendo um total de 5,0 pontos, constituída por duas (2) questões discursivas (ou argumentativas ou dissertativas), cada uma das quais valendo 2,5 pontos.
3. A parte objetiva deve ser preenchida *a caneta*.
4. É vedado o uso de qualquer instrumento eletro-eletrônico (calculadora, celular, iPod, etc)

---

**Formulário**

$$\boldsymbol{F}_e = q\boldsymbol{E}\,, \qquad \boldsymbol{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r^2}\,\hat{\boldsymbol{r}}\,, \qquad \oint_{\mathcal{S}} \boldsymbol{E}\cdot d\boldsymbol{A} = \frac{Q_{\rm int}}{\epsilon_0}\,,$$

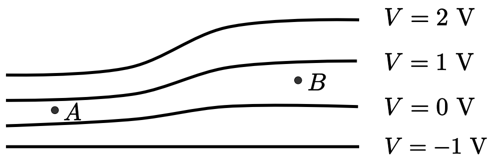
$$\oint_{\mathcal{C}} \boldsymbol{E}\cdot d\boldsymbol{\ell} = 0\,, \qquad \boldsymbol{E} = -\boldsymbol{\nabla}V\,, \qquad U = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{qq'}{r}$$

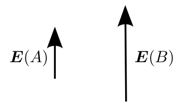
$$C = Q/V\,, \qquad \boldsymbol{E} = \frac{\boldsymbol{E}_0}{K}$$

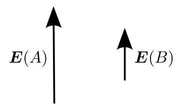
---

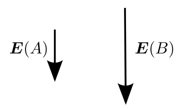
## Seção 1. Múltipla escolha (10×0,5=5,0 pontos)

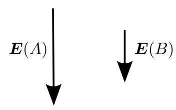
1. Considere o seguinte corte perpendicular a uma família de quatro superfícies equipotenciais, associadas a um campo eletrostático. Assinale a opção que melhor indica o vetor campo elétrico em cada um dos pontos $A$ e $B$, respectivamente.

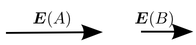


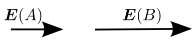

(a) 


(b) 


(c) 


(d) 


(e) 


(f) 


2. Considere as seguintes afirmações: (I) em um ponto qualquer do interior de um condutor em equilíbrio eletrostático, o campo elétrico é sempre nulo; (II) em um ponto qualquer do interior de um isolante, o campo elétrico é sempre nulo; (III) se o fluxo do campo elétrico resultante através de uma superfície fechada (gaussiana) for zero, então não existem partículas carregadas no interior dessa superfície; (IV) para todos os pontos (internos e na superfície) de um condutor em equilíbrio eletrostático o potencial é o mesmo. Dessas afirmações, quais são todas as corretas?

(a) I, IV .

(b) I .

(c) III .

(d) IV .

(e) I, III, IV .

3. Um fio retilíneo, fino, muito longo, possui densidade linear de carga constante $\lambda$. Ao deslocarmos uma partícula de carga $q_0$, desde um ponto a uma distância $a$ até um outro ponto a uma distância $b$ de tal fio, qual é o trabalho realizado *pela* força elétrica do fio sobre a partícula?

(a) $\dfrac{q_0\lambda}{2\pi\epsilon_0}\ln(a/b)\,.$

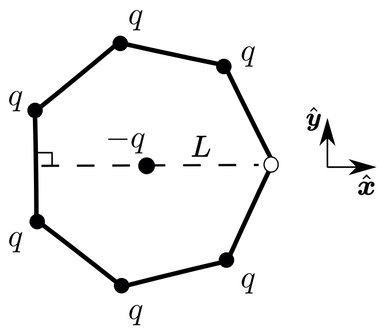
(b) $\dfrac{q_0\lambda}{2\pi\epsilon_0}\ln(b/a)\,.$

(c) $\dfrac{q_0\lambda}{4\pi\epsilon_0}\dfrac{a}{b}\,.$

(d) $\dfrac{q_0\lambda}{4\pi\epsilon_0}\dfrac{b}{a}\,.$

(e) $\dfrac{q_0\lambda}{2\pi\epsilon_0}\dfrac{b-a}{ab}\,.$

4. Em um heptágono regular, cuja distância do centro a um dos vértices é $L$, seis de seus vértices estão ocupados por partículas (imóveis) com a mesma carga $q$. Qual é a força eletrostática sobre uma partícula (imóvel) de carga $-q$ colocada em seu centro?




(a) $\dfrac{1}{4\pi\epsilon_0}\dfrac{q^2}{L^2}\,\hat{\boldsymbol{x}}\,.$

(b) $-\dfrac{1}{4\pi\epsilon_0}\dfrac{q^2}{L^2}\,\hat{\boldsymbol{x}}\,.$

(c) $-\dfrac{1}{4\pi\epsilon_0}\dfrac{\sqrt{2}q^2}{L^2}\,\hat{\boldsymbol{x}}\,.$

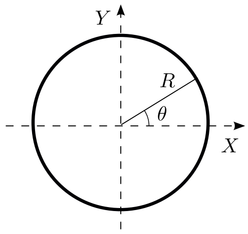
(d) $-\dfrac{1}{4\pi\epsilon_0}\dfrac{\sqrt{3}q^2}{L^2}\,\hat{\boldsymbol{x}}\,.$

(e) $-\dfrac{1}{4\pi\epsilon_0}\dfrac{\sqrt{8}q^2}{L^2}\,\hat{\boldsymbol{x}}\,.$

5. Deseja-se conectar um capacitor de 4 $\mu$F a outro de 8 $\mu$F. Com qual tipo de ligação o capacitor de 4 $\mu$F terá uma diferença de potencial maior através dele do que o capacitor de 8 $\mu$F? Com qual tipo de ligação o capacitor de 4 $\mu$F terá um módulo de carga maior em cada placa do que o capacitor de 8 $\mu$F?

   (a) Em série. Em série.
   (b) Em paralelo. Em paralelo.
   (c) Em série. Em paralelo.
   (d) Em paralelo. Em série.
   (e) Em série. Nem em série nem em paralelo.

6. Um anel circular, fino, de raio $R$, está disposto no plano $XY$, com centro na origem. Nele, há uma densidade linear de carga $\lambda(\theta) = \lambda_0 |\operatorname{sen}\theta|$, onde $\theta$ é o tradicional ângulo polar e $\lambda_0$ é uma constante. Qual é a carga total de tal anel?

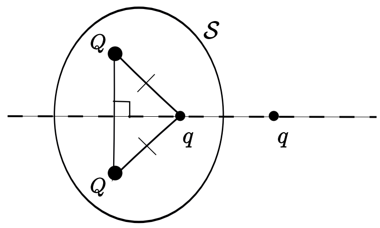



   (a) $0$ .
   (b) $\lambda_0 R$ .
   (c) $\pi \lambda_0 R^2$ .
   (d) $2\pi \lambda_0 R$ .
   (e) $4\lambda_0 R$ .

7. Num acelerador de partículas, temos dois feixes parelelos, um de prótons e outro de elétrons, com a mesma densidade numérica de partículas [(número de partículas)/volume], $n$. Os prótons movem-se no sentido $\hat{\boldsymbol{x}}$ e os elétrons no sentido oposto, ambos com velocidade de módulo $v$. Qual é o vetor densidade de corrente nessa situação?

   (a) $-2env\hat{\boldsymbol{x}}$ .
   (b) $-env\hat{\boldsymbol{x}}$ .
   (c) $\mathbf{0}$ .
   (d) $2env\hat{\boldsymbol{x}}$ .
   (e) $env\hat{\boldsymbol{x}}$ .

8. Um sistema de quatro partículas carregadas, imóveis, está representado na figura abaixo, sendo duas delas sabidamente negativas ($q < 0$). Três dessas partículas constituem um triângulo isósceles, conforme marcado na figura. Levando em conta que a força elétrica resultante sobre a partícula de carga $q$ de tal triângulo é zero, assinale a opção na qual consta uma afirmação correta sobre o fluxo do campo elétrico resultante através da superfície $\mathcal{S}$, $\Phi_E[\mathcal{S}]$.




   (a) $\Phi_E[\mathcal{S}] > 0$ .
   (b) $\Phi_E[\mathcal{S}] = 0$ .
   (c) $\Phi_E[\mathcal{S}] < 0$ .
   (d) Nada se pode afirmar sobre $\Phi_E[\mathcal{S}]$ .

9. Duas cascas esféricas, finas, concêntricas possuem, inicialmente, carga $-20$ C na casca externa e 10 C na interna. Num certo instante, a casca externa é aterrada. Assinale o que ocorre com o sistema.

   (a) Prótons são deslocados da Terra para a casca externa, até neutralizar a casca externa.
   (b) Elétrons são deslocados da Terra para a casca externa.
   (c) Elétrons são deslocados da casca externa para a Terra, até neutralizar a casca externa.
   (d) Prótons são deslocados da casca externa para a Terra.
   (e) Elétrons são deslocados da casca externa para a Terra, até que a casca externa tenha carga $-10$ C.

10. Considere os seguintes sistemas carregados: (I) fio retilíneo, fino, finito, uniforme; (II) fio retilíneo, fino, finito, não uniforme; (III) fio retilíneo, fino, infinito, não uniforme; (IV) anel circular, fino, uniforme; (V) bola (esférica), sólida, com densidade de carga variando só com a distância até o centro. Qual a opção que indica, desses sistemas, aquele(s) para o(s) qual(is) pode-se aplicar a lei de Gauss a fim de deduzir uma expressão analítica explícita para o campo elétrico resultante?

    (a) IV.

    (b) V.

    (c) I, IV.

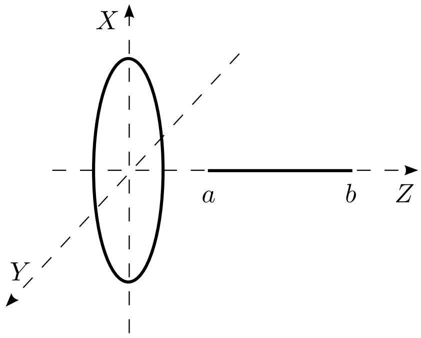
    (d) I, V.

    (e) IV, V.

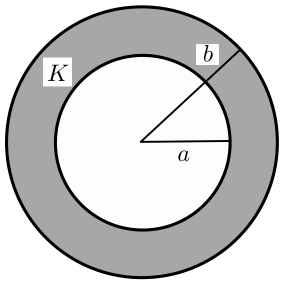
    (f) I, IV, V.

**Seção 2. Questões discursivas (2×2,5=5,0 pontos)**

1. Um anel circular, muito fino, de raio $R$, encontra-se em repouso no plano $XY$, com seu centro na origem. Tal anel possui carga total $Q$, uniformemente distribuída.
   (a) Calcule o vetor campo elétrico (módulo, direção e sentido) devido a tal anel num ponto do eixo $Z$, com cota arbitrária $z$. [1,5 ponto]
   (b) Considere agora um bastão retilíneo, muito fino, em repouso, situado no eixo $Z$, entre $z = a > 0$ e $z = b > a$. Tal bastão também possui carga total $Q$, uniformemente distribuída. Calcule o vetor força eletrostática sobre tal bastão devido ao anel (Sugestão: a força sobre o bastão constitui-se da soma vetorial das forças sobre cada elemento infinitesimal do bastão carregado). [1,0 ponto]



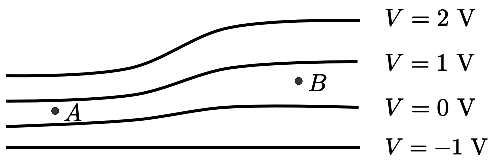
2. Uma bola esférica, condutora, sólida, em equilíbrio eletrostático, de raio $a$, possui carga total $Q$. Tal bola é circundada por uma coroa esférica, isolante (de constante dielétrica $K$), de raios interno $a$ e externo $b > a$, com uma carga total $-Q$, uniformemente distribuída (pelo interior da coroa).
(a) Calcule o vetor campo elétrico resultante (módulo, direção e sentido) nas três regiões: (I) $0 < r < a$; (II) $a < r < b$; (III) $b < r < \infty$. [1,0 ponto]
(b) Calcule o potencial elétrico resultante nas três regiões acima mencionadas, fazendo-o zero no infinito. [1,5 ponto]

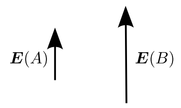


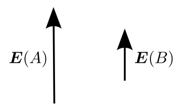
# Gabarito para Versão $\boxed{\text{A}}$

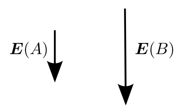
**Seção 1. Múltipla escolha (10×0,5=5,0 pontos)**

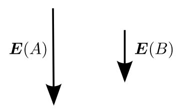
1. Considere o seguinte corte perpendicular a uma família de quatro superfícies equipotenciais, associadas a um campo eletrostático. Assinale a opção que melhor indica o vetor campo elétrico em cada um dos pontos $A$ e $B$, respectivamente.

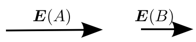


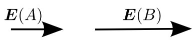

(a) 


(b) 


(c) 


$\boxed{\text{(d)}}$ 


(e) 


(f) 


2. Considere as seguintes afirmações: (I) em um ponto qualquer do interior de um condutor em equilíbrio eletrostático, o campo elétrico é sempre nulo; (II) em um ponto qualquer do interior de um isolante, o campo elétrico é sempre nulo; (III) se o fluxo do campo elétrico resultante através de uma superfície fechada (gaussiana) for zero, então não existem partículas carregadas no interior dessa superfície; (IV) para todos os pontos (internos e na superfície) de um condutor em equilíbrio eletrostático o potencial é o mesmo. Dessas afirmações, quais são todas as corretas?

$\boxed{\text{(a)}}$ I, IV .

(b) I .

(c) III .

(d) IV .

(e) I, III, IV .

3. Um fio retilíneo, fino, muito longo, possui densidade linear de carga constante $\lambda$. Ao deslocarmos uma partícula de carga $q_0$, desde um ponto a uma distância $a$ até um outro ponto a uma distância $b$ de tal fio, qual é o trabalho realizado *pela* força elétrica do fio sobre a partícula?

(a) $\dfrac{q_0\lambda}{2\pi\epsilon_0}\ln(a/b)$ .

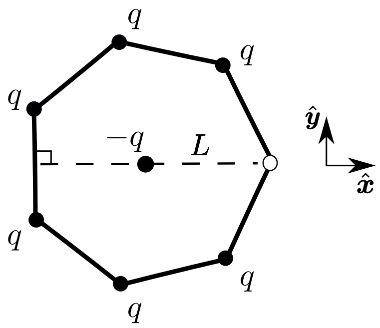
$\boxed{\text{(b)}}$ $\dfrac{q_0\lambda}{2\pi\epsilon_0}\ln(b/a)$ .

(c) $\dfrac{q_0\lambda}{4\pi\epsilon_0}\dfrac{a}{b}$ .

(d) $\dfrac{q_0\lambda}{4\pi\epsilon_0}\dfrac{b}{a}$ .

(e) $\dfrac{q_0\lambda}{2\pi\epsilon_0}\dfrac{b-a}{ab}$ .

4. Em um heptágono regular, cuja distância do centro a um dos vértices é $L$, seis de seus vértices estão ocupados por partículas (imóveis) com a mesma carga $q$. Qual é a força eletrostática sobre uma partícula (imóvel) de carga $-q$ colocada em seu centro?




(a) $\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q^2}{L^2}\,\hat{\boldsymbol{x}}\,.$

$\boxed{\text{(b)}}$ $-\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q^2}{L^2}\,\hat{\boldsymbol{x}}\,.$

(c) $-\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{\sqrt{2}q^2}{L^2}\,\hat{\boldsymbol{x}}\,.$

(d) $-\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{\sqrt{3}q^2}{L^2}\,\hat{\boldsymbol{x}}\,.$

(e) $-\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{\sqrt{8}q^2}{L^2}\,\hat{\boldsymbol{x}}\,.$

5. Deseja-se conectar um capacitor de 4 $\mu$F a outro de 8 $\mu$F. Com qual tipo de ligação o capacitor de 4 $\mu$F terá uma diferença de potencial maior através dele do que o capacitor de 8 $\mu$F? Com qual tipo de ligação o capacitor de 4 $\mu$F terá um módulo de carga maior em cada placa do que o capacitor de 8 $\mu$F?

(a) Em série. Em série.

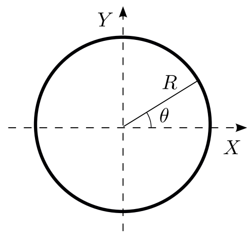
(b) Em paralelo. Em paralelo.

(c) Em série. Em paralelo.

(d) Em paralelo. Em série.

$\boxed{\text{(e)}}$ Em série. Nem em série nem em paralelo.

6. Um anel circular, fino, de raio $R$, está disposto no plano $XY$, com centro na origem. Nele, há uma densidade linear de carga $\lambda(\theta) = \lambda_0|\text{sen}\,\theta|$ , onde $\theta$ é o tradicional ângulo polar e $\lambda_0$ é uma constante. Qual é a carga total de tal anel?




(a) $0\,.$

(b) $\lambda_0 R\,.$

(c) $\pi\lambda_0 R^2\,.$

(d) $2\pi\lambda_0 R\,.$

$\boxed{\text{(e)}}$ $4\lambda_0 R\,.$

7. Num acelerador de partículas, temos dois feixes parelelos, um de prótons e outro de elétrons, com a mesma densidade numérica de partículas [(número de partículas)/volume], $n$. Os prótons movem-se no sentido $\hat{\boldsymbol{x}}$ e os elétrons no sentido oposto, ambos com velocidade de módulo $v$. Qual é o vetor densidade de corrente nessa situação?

(a) $-2env\hat{\boldsymbol{x}}\,.$

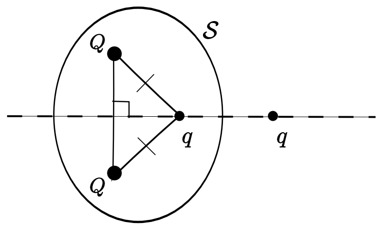
(b) $-env\hat{\boldsymbol{x}}\,.$

(c) $\mathbf{0}\,.$

$\boxed{\text{(d)}}$ $2env\hat{\boldsymbol{x}}\,.$

(e) $env\hat{\boldsymbol{x}}\,.$

8. Um sistema de quatro partículas carregadas, imóveis, está representado na figura abaixo, sendo duas delas sabidamente negativas ($q < 0$). Três dessas partículas constituem um triângulo isósceles, conforme marcado na figura. Levando em conta que a força elétrica resultante sobre a partícula de carga $q$ de tal triângulo é zero, assinale a opção na qual consta uma afirmação correta sobre o fluxo do campo elétrico resultante através da superfície $\mathcal{S}$, $\Phi_E[\mathcal{S}]$.




(a) $\Phi_E[\mathcal{S}] > 0$ .

(b) $\Phi_E[\mathcal{S}] = 0$ .

$\boxed{\text{(c)}}$ $\Phi_E[\mathcal{S}] < 0$ .

(d) Nada se pode afirmar sobre $\Phi_E[\mathcal{S}]$ .

9. Duas cascas esféricas, finas, concêntricas possuem, inicialmente, carga $-20$ C na casca externa e 10 C na interna. Num certo instante, a casca externa é aterrada. Assinale o que ocorre com o sistema.

(a) Prótons são deslocados da Terra para a casca externa, até neutralizar a casca externa.

(b) Elétrons são deslocados da Terra para a casca externa.

(c) Elétrons são deslocados da casca externa para a Terra, até neutralizar a casca externa.

(d) Prótons são deslocados da casca externa para a Terra.

$\boxed{\text{(e)}}$ Elétrons são deslocados da casca externa para a Terra, até que a casca externa tenha carga $-10$ C.

10. Considere os seguintes sistemas carregados: (I) fio retilíneo, fino, finito, uniforme; (II) fio retilíneo, fino, finito, não uniforme; (III) fio retilíneo, fino, infinito, não uniforme; (IV) anel circular, fino, uniforme; (V) bola (esférica), sólida, com densidade de carga variando só com a distância até o centro. Qual a opção que indica, desses sistemas, aquele(s) para o(s) qual(is) pode-se aplicar a lei de Gauss a fim de deduzir uma expressão analítica explícita para o campo elétrico resultante?

(a) IV.

$\boxed{\text{(b)}}$ V.

(c) I, IV.

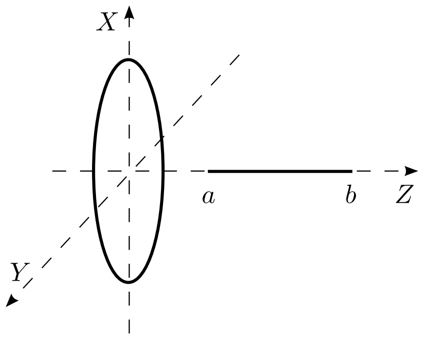
(d) I, V.

(e) IV, V.

(f) I, IV, V.

**Seção 2. Questões discursivas (2×2,5=5,0 pontos)**

1. Um anel circular, muito fino, de raio $R$, encontra-se em repouso no plano $XY$, com seu centro na origem. Tal anel possui carga total $Q$, uniformemente distribuída.
(a) Calcule o vetor campo elétrico (módulo, direção e sentido) devido a tal anel num ponto do eixo $Z$, com cota arbitrária $z$. [1,5 ponto]
(b) Considere agora um bastão retilíneo, muito fino, em repouso, situado no eixo $Z$, entre $z = a > 0$ e $z = b > a$. Tal bastão também possui carga total $Q$, uniformemente distribuída. Calcule o vetor força eletrostática sobre tal bastão devido ao anel (Sugestão: a força sobre o bastão constitui-se da soma vetorial das forças sobre cada elemento infinitesimal do bastão carregado). [1,0 ponto]




**Resolução:**

(a) Um elemento infinitesimal do anel criará, no ponto de cota $z$, um campo elétrico dado por

$$d\boldsymbol{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{dq}{s^2}\,\hat{\boldsymbol{s}}\,,$$

onde $dq$ é a carga de tal elemento infinitesimal e $\boldsymbol{s}$ é o raio vetor do elemento infinitesimal para o ponto no eixo $Z$, cujo módulo vale $\sqrt{z^2+R^2}$.

Como, por simetria, o campo resultante devido ao anel só terá componente $z$, projetamos a expressão acima ao longo de $\hat{\boldsymbol{z}}$, obtendo

$$dE_z = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{dq}{s^2}\frac{z}{s}\,.$$

Logo, já que, na integração, $z$ e $R$ são constantes,

$$\boxed{\boldsymbol{E}(z\hat{\boldsymbol{z}}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{Qz}{\left(z^2+R^2\right)^{3/2}}\,\hat{\boldsymbol{z}}\,.}$$

■

(b) Sobre cada elemento infinitesimal do bastão retilíneo, age uma força eletrostática, devida ao anel, dada por

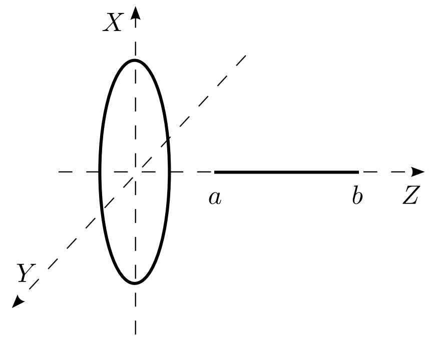
$$d\boldsymbol{F} = dq\boldsymbol{E}\,,$$

onde $dq$ é a carga do elemento e $\boldsymbol{E}$ é o campo acima calculado. Temos, pois,

$$\begin{aligned} d\boldsymbol{F} &= \lambda dz\,\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{Qz}{\left(z^2+R^2\right)^{3/2}}\,\hat{\boldsymbol{z}} \\ &= \frac{Q}{b-a}\,\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{Qz}{\left(z^2+R^2\right)^{3/2}}\,dz\,\hat{\boldsymbol{z}} \\ &= \frac{Q^2}{4\pi\epsilon_0(b-a)}\,\frac{z\,dz}{\left(z^2+R^2\right)^{3/2}}\,\hat{\boldsymbol{z}}\,. \end{aligned}$$

Então, já que, nesta nova integração, $R$ é constante, mas $z$ não, temos

$$\begin{aligned} \boldsymbol{F} &= \frac{Q^2}{4\pi\epsilon_0(b-a)}\int_{z=a}^{b}\frac{z\,dz}{\left(z^2+R^2\right)^{3/2}}\,\hat{\boldsymbol{z}} \\ &= \frac{Q^2}{8\pi\epsilon_0(b-a)}\int_{z=a}^{b}\frac{d\left(z^2+R^2\right)}{\left(z^2+R^2\right)^{3/2}}\,\hat{\boldsymbol{z}}\,, \end{aligned}$$

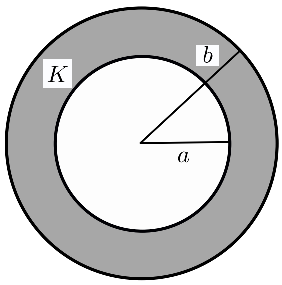



ou seja,

$$\boxed{\boldsymbol{F} = \frac{Q^2}{4\pi\epsilon_0(b-a)}\left(\frac{1}{\sqrt{a^2+R^2}} - \frac{1}{\sqrt{b^2+R^2}}\right)\hat{\boldsymbol{z}}\,.}$$

■

2. Uma bola esférica, condutora, sólida, em equilíbrio eletrostático, de raio $a$, possui carga total $Q$. Tal bola é circundada por uma coroa esférica, isolante (de constante dielétrica $K$), de raios interno $a$ e externo $b > a$, com uma carga total $-Q$, uniformemente distribuída (pelo interior da coroa).
(a) Calcule o vetor campo elétrico resultante (módulo, direção e sentido) nas três regiões: (I) $0 < r < a$; (II) $a < r < b$; (III) $b < r < \infty$. [1,0 ponto]
(b) Calcule o potencial elétrico resultante nas três regiões acima mencionadas, fazendo-o zero no infinito. [1,5 ponto]




**Resolução:**

(a)

- $\underline{0 < r < a}$:
Por ser uma região no interior de um condutor em equilíbrio eletrostático, temos, imediatamente, pelas próprias definições de condutor e de equilíbrio eletrostático (*independentemente da lei de Gauss!*), que

$$\boxed{\boldsymbol{E}(\boldsymbol{r}) = \boldsymbol{0}\,.}$$

- $\underline{b < r < \infty}$:
Por simetria esférica e pela lei de Gauss, o campo na região externa é igual ao produzido por uma partícula de carga total $Q + (-Q) = 0$, no centro de simetria; ou seja:

$$\boxed{\boldsymbol{E}(\boldsymbol{r}) = \boldsymbol{0}\,.}$$

- $\underline{a < r < b}$:
Por simetria esférica e pela lei de Gauss, levando em conta o isolante, temos que o campo só tem componente radial $E_r(r)$, tal que:

$$KE_r(r)4\pi r^2 = Q_{\text{int}}(r)/\epsilon_0\,,$$

onde $Q_{\text{int}}$ é a carga no interior de uma gaussiana esférica, de raio $r$ entre $a$ e $b$, concêntrica ao centro de simetria. Logo, devido à homogeneidade da carga distribuída na coroa,

$$Q_{\text{int}}(r) = Q - Q\frac{r^3 - a^3}{b^3 - a^3}\,.$$

Substituindo isso na equação precedente, obtemos, finalmente,

$$\boxed{\boldsymbol{E}(\boldsymbol{r}) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 K r^2}\left[1 - \frac{r^3 - a^3}{b^3 - a^3}\right]\hat{\boldsymbol{r}}\,.} \tag{1}$$

■

(b)

- $\underline{b < r < \infty}$:
  O campo elétrico nessa região é zero e o potencial no infinito também; logo:

$$\boxed{V(\boldsymbol{r}) = 0\,.}$$

- $\underline{a < r < b}$:
  A integral indefinida da expressão (1), com o sinal trocado, é:

$$V(\boldsymbol{r}) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 K(b^3 - a^3)}\left[\frac{b^3}{r} + \frac{r^2}{2}\right] + \text{const}\,.$$

  Para determinarmos a constante, impomos a continuidade dessa função em $r = b$; ou seja, devemos ter que, quando $r = b$ na expressão acima, o potencial deve ser zero. Logo,

$$\boxed{V(\boldsymbol{r}) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 K(b^3 - a^3)}\left[\frac{b^3}{r} + \frac{r^2}{2} - \frac{3b^2}{2}\right]\,.}$$

- $\underline{0 < r < a}$:
  Nessa região o potencial deve ser constante e, por continuidade, temos:

$$\boxed{V(\boldsymbol{r}) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 K(b^3 - a^3)}\left[\frac{b^3}{a} + \frac{a^2}{2} - \frac{3b^2}{2}\right]\,.}$$

■