

Universidade Federal de Santa Catarina  
Centro de Ciências Físicas e Matemáticas — Departamento de Física  
Física Geral III (FSC 5193) — Prof. Emmanuel G. de Oliveira  
Lista de problemas I — Versão de 15 de setembro de 2018

Quando a resposta for numérica, usar dois (2) algarismos significativos, a menos que escrito diferente. Use os seguintes valores para as constantes:  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ ,  $k = 9,0 \cdot 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$ ,  $c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ ,  $e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ,  $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ ,  $m_p = 1,7 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ .

(1) Um átomo de hidrogênio não pode ser descrito classicamente. Contudo, calcule a força elétrica entre o elétron e o próton se estes estão separados pela distância de um raio de Bohr  $5,29 \cdot 10^{-11} \text{ m}$ .

(2) No limite em que  $r \gg d$ , encontre como depende de  $\mathbf{r}$  o campo elétrico  $E(\mathbf{r})$  de um dipolo de tamanho  $d$  localizado na origem do sistema de coordenadas. Você pode usar que

$$\frac{1}{(a+x)^{3/2}} \underset{x \ll a}{\approx} \frac{1}{a^{3/2}} - \frac{3x}{2a^{5/2}} + \dots \quad (1)$$

(3) No caso de duas cargas positivas, uma com magnitude quatro vezes maior do que a outra, separadas por uma distância  $r$ . Encontre os pontos espaciais em que o campo é nulo.

(4) Repita o problema anterior quando as cargas têm sinais opostos.

(5) O elétron de massa  $9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$  é atraído gravitacionalmente pela Terra de massa  $5,3 \cdot 10^{24}$  com força de  $8,9 \cdot 10^{-30} \text{ N}$ . (a) Encontre a carga necessária para fazer com o que o elétron levite, colocada no centro da Terra (raio de 6380 km). (b) Encontre a carga novamente, mas agora a carga está a 1,0 metro de distância quando o elétron levita. (c) No lugar da carga agora há um dipolo no centro da terra, com a mesma direção da linha que une o centro da Terra e o elétron. Encontre o módulo do momento de dipolo  $p$  necessário para levitar o elétron, sabendo que o campo elétrico de um dipolo é dado por  $\mathbf{E} = \frac{k}{r^3}(3\hat{\mathbf{r}}(\mathbf{p} \cdot \hat{\mathbf{r}}) - \mathbf{p})$ .

(6) Há duas cargas, de cargas  $q_1 = q$  e  $q_2 = -2q$ , separadas pela distância  $d$  e localizadas próximas à origem do sistema de coordenadas.

(a) Desenhe as linhas de campo e as linhas equipotenciais. (b) No limite em que  $r \gg d$ , encontre como depende de  $\mathbf{r}$  o campo elétrico  $E(\mathbf{r})$ .

(7) [Nussenzveig 3.3]

(8) Considere duas cargas positivas iguais em posições fixas. (a) Quanto vale o campo no ponto central do segmento de reta que une as duas cargas? (b) É adicionada nesta posição uma terceira carga positiva que está confinada a mover-se neste segmento de reta. Estará esta última em equilíbrio estável? (c) O que acontece se a carga for negativa? (d) O que acontece se a carga pode abandonar o segmento de reta?

(9) [Nussenzveig 3.7, adapt.] Uma carga puntual  $q$  é colocada em uma caixa cúbica de aresta  $L$ . Use argumentos de simetria. (a) Qual é o fluxo sobre cada uma das faces se a carga ocupa o centro do cubo? (b) Qual é o fluxo sobre cada uma das faces se a carga ocupa um dos vértices do cubo?

(10) Considere um fio fino carregado com densidade  $\lambda$  com início na origem mas sem fim. (a) Desenhe as linhas de campo e as superfícies equipotenciais. (b) Encontre os campos elétricos em dois pontos qualitativamente diferentes mas com a mesma distância  $r$  a partir da origem. O ponto não pode ser dentro do fio ou no infinito. É dada a fórmula

$$\int \frac{dx}{a^2 + x^2} = \frac{1}{a} \arctan\left(\frac{x}{a}\right) + C \quad (2)$$

(11) [Nussenzveig 3.16]

(12) Considere uma casca esférica de raio  $R$  centrada na origem. A densidade de carga na esfera é dada por  $\sigma(z) = az$ , em que  $a$  é uma constante. (a) Qual é o campo na origem? (b) Qual é o campo em uma posição dentro da esfera com  $y = z = 0$ ?

(13) [Nussenzveig 4.1]

(14) Considere um próton fixo na origem e um elétron no infinito, ambos em repouso. Sem desconsiderar a energia de repouso (que é usualmente negligenciada), a energia total do sistema é  $E = (m_p + m_e)c^2 + U$ . (a) Suponha que o elétron está em repouso em uma posição  $\mathbf{r}$ . Ele poderia chegar nessa configuração aproximando-se do próton e parar novamente devido à uma outra força. Qual é a energia do sistema? (b) Há algum ponto em que a energia do elétron mais a do próton (ambos em repouso) é menor do que a de um sistema no qual existe o próton apenas? Ou seja, adicionamos uma partícula ao sistema e a energia total diminui.

(15) [Nussenzveig 4.5]

(16) Há uma carga positiva  $2q$  na origem e duas cargas negativas  $-q$  nas posições  $d\mathbf{i}$  e  $d\mathbf{j}$ ; qual é o campo elétrico a uma distância muito grande?

(17) [Nussenzveig 4.8]

(18) Considere um fio infinito, por simplicidade, no eixo  $x$ . A densidade de carga é dada por  $\lambda(x) = \lambda'/x$ . O fio gera um campo elétrico na posição  $z, x = y = 0$ . (a) Use análise dimensional para determinar a dependência em  $z$  do campo e um argumento de simetria para identificar quais componentes são nulas. (b) Calcule exatamente o campo elétrico.

(19) [Nussenzveig 4.10]

(20) Considere um disco finito com densidade de carga  $\sigma$ . Qual é o campo elétrico em uma posição fora do disco mas no mesmo plano do disco?

(21) [Nussenzveig 4.11]

(22) Considere um próton fixo e um elétron com distância entre si igual ao raio de Bohr. Qual é a velocidade de escape do elétron, ou seja, a velocidade necessária para que ele possa se afastar quanto for necessário do próton?

(23) Uma partícula negativa de carga  $-2\text{ mC}$  e massa igual a  $4,0\text{ kg}$  é jogada contra outra de carga  $-4,0\text{ mC}$ . A velocidade inicial da primeira é de  $30\text{ m/s}$  enquanto que a segunda está fixa. A distância inicial entre elas é de  $16\text{ m}$ . Qual será

a aproximação máxima entre as partículas?

(24) (a) Encontre a energia eletrostática de um cilindro de comprimento  $L$  e raio da base  $R$  e densidade de cargas  $\rho$ . (b) No limite de  $R \rightarrow 0$ , qual é a energia?

(25) Desenhe as linhas de campo e as linhas equipotenciais para duas cargas positivas de mesma magnitude separadas por uma distância  $L$ .

(26) É dado o potencial  $V(r) = V_0 \exp(-r^2/r_0^2)$ . Qual é o campo elétrico em qualquer posição?

(27) Considere dois dipolos de mesmo momento de dipolo mas orientações opostas. Qual é a força entre eles? Qual é o torque sofrido por um deles?

(28) Considere dois dipolos afastados por uma distância  $r$  com momentos de dipolo de mesmo módulo e perpendiculares. O campo elétrico de um dipolo é dado por  $\mathbf{E} = \frac{k}{r^3}(3\hat{\mathbf{r}}(\mathbf{p} \cdot \hat{\mathbf{r}}) - \mathbf{p})$ . Qual é o torque sofrido por um deles? Indique no desenho qual o dipolo que você escolheu para calcular o torque.

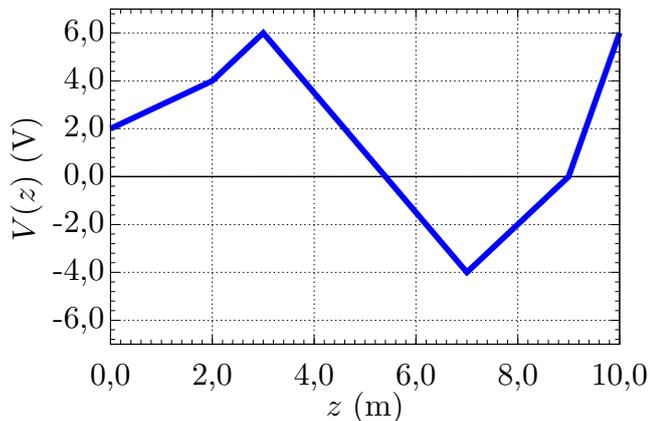
(29) Considere cargas colocadas em um eixo  $x$ . A primeira  $q$  está na origem e a segunda  $9q$  está na posição  $L$ . Onde deve ser colocada uma terceira carga para que todas as cargas não sofram forças? Qual é esta carga?

(30) Há uma carga positiva  $2q$  na origem e duas cargas negativas  $-q$  nas posições  $d\mathbf{i}$  e  $d\mathbf{j}$ ; qual é a energia potencial do sistema?

(31) Calcule a circulação de um campo elétrico de um dipolo quando a distância até o dipolo é muito maior do que o tamanho do dipolo.

(32) Encontre a densidade de energia potencial do sistema para um plano infinito.

(33) Considere vários planos paralelos identificados pelas suas coordenadas  $z$ . O potencial é o dado pela figura. Onde estão os planos e quais são suas densidades de carga?



(34) Faça o gráfico do potencial de um condutor com carga líquida positiva e também de uma casca esférica com a mesma carga.

(35) A partir da definição de trabalho, determine o trabalho e a energia potencial de fio infinito.

(36) No caso de duas cargas de sinais opostos, a positiva com magnitude quatro vezes maior do que a negativa, separadas por uma distância  $L$ . Desenhe as linhas de campo e as linhas equipotenciais.

(37) (a) Usando a lei de Gauss, encontre o campo de um fio infinito de densidade de carga linear  $\lambda$ . (b) No caso do fio finito de tamanho  $L$ , encontre o campo em uma posição de sua escolha, sem ser dentro do fio ou no infinito.

**Atualizações:** 2018/08/09: Adicionados os exercícios de número 7 a 21. 2018/08/17: Adicionados os exercícios de número 22 a 36. 2018/08/27: Número de algarismos significativos reduzido de três (3) para dois (2). Questão 5 reformulada (mais simples) com item  $c$  adicionado. Questão 6 reescrita (clareza) com item  $b$  adicionado. A questão 14 foi reescrita (clareza). Na questão 18, havia um erro de digitação importante na densidade de carga elétrica do fio, que foi corrigido. Questão 24 reformulada (colocado um passo intermediário importante para o resultado final). Questão 37 adicionada. 2018/9/15: Adicionada a fórmula da expansão de Taylor na questão 2. Questão 6 agora também pede as equipotenciais e foram trocados os itens “a” e “b”. Questão 8 foi reescrita (clareza). Questão 10 foi refeita. Questão 28 foi reescrita (clareza).