

Material teórico – Módulo Eletrostática III

Potencial Elétrico e Energia Elétrica

Terceiro Ano do Ensino Médio

Autor: Vinicius Henning

Revisora: Luna Lima



1. Introdução

No nosso último texto, nós discutimos em detalhe o comportamento do potencial elétrico e introduzimos o conceito de diferença de potencial entre dois pontos. Neste texto nós vamos discutir o trabalho realizado pela força elétrica, novamente, utilizando conceitos já bem estabelecidos da mecânica newtoniana.

1.2 Revisão: o trabalho realizado por uma força constante

Considere um bloquinho sobre uma superfície plana, e uma força F constante atuando sobre o bloquinho, como indicado na Fig. (1) abaixo. Considere também um deslocamento d . Tal vetor deslocamento representa a diferença entre a posição final e a posição inicial. No exemplo da Fig. (1) consideramos um deslocamento de tamanho $d = |d|$ ao longo da direção horizontal com sentido da esquerda para a direita. O ângulo entre a força F e o vetor deslocamento d é θ .

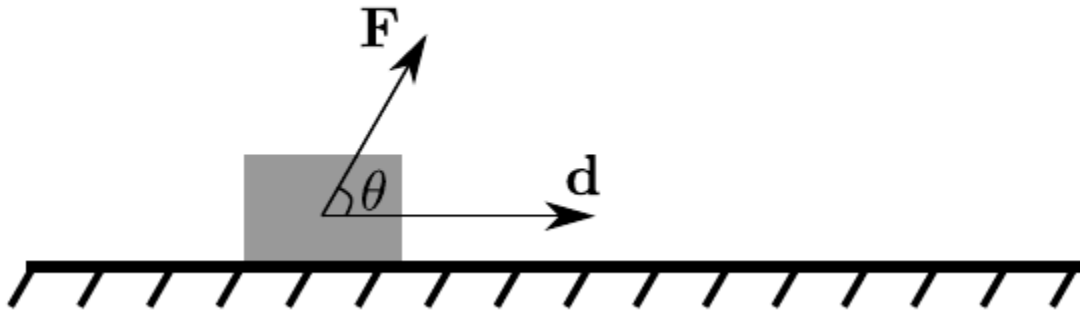


Fig. (1): Ilustração de uma força de módulo F agindo sobre um bloquinho. O deslocamento dá-se paralelo ao plano, e o ângulo entre o vetor força e o vetor deslocamento é θ .

O trabalho realizado pela força constante F ao longo do deslocamento d é dado pelo produto escalar entre eles:

$$\tau_F = F \cdot d = Fd \cos \theta .$$

Existem alguns casos especiais para o trabalho realizado sobre o corpo, dependendo da direção e sentido de aplicação da força comparado com o deslocamento do corpo. Três desses casos são exemplificados na Fig. (2) abaixo.

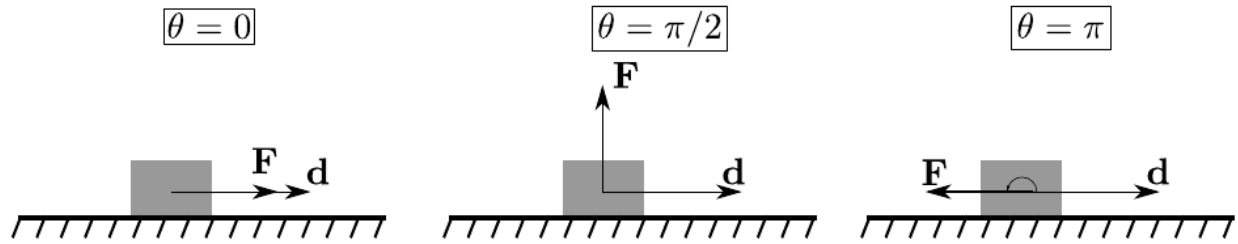


Fig. (2): Ilustração de três casos particulares de atuação da força: paralelo ao movimento, perpendicular e antiparalelo ao movimento.

No primeiro caso da Fig. (2) temos $\theta = 0$, o bloquinho move-se da esquerda para a direita, e a força é aplicada no mesmo sentido. Logo, a fórmula para o trabalho torna-se simplesmente $\tau_F = Fd$, visto que o $\cos 0 = 1$. Uma outra maneira de ler esse caso particular é dizer que a força está inteiramente ao longo do movimento, então, a projeção (que teria módulo $F \cos \theta$) na verdade é exatamente a força. No segundo caso, temos $\theta = \frac{\pi}{2}$, isto é, a força é perpendicular ao movimento do bloquinho. Ao aplicarmos uma força perpendicular, nós não diminuímos nem aumentamos a velocidade do bloquinho ao longo do seu deslocamento (pensando num plano sem atrito). Assim, o trabalho realizado por essa força é nulo (pois $\cos \frac{\pi}{2} = 0$). No último caso, $\theta = \pi$, a força opõe-se ao deslocamento do bloquinho. Isto é, enquanto o bloquinho move-se da esquerda para a direita, a força tenta contrapor o movimento, contribuindo para diminuir a velocidade do bloquinho. Assim, o trabalho é negativo, visto que $\cos \pi = -1$.

2. O trabalho da força gravitacional e a diferença de energia potencial gravitacional

Vamos analisar agora o trabalho realizado pela força gravitacional para levar uma partícula de massa m que se encontra no ponto A até o ponto B , como ilustrado na Fig. (3).

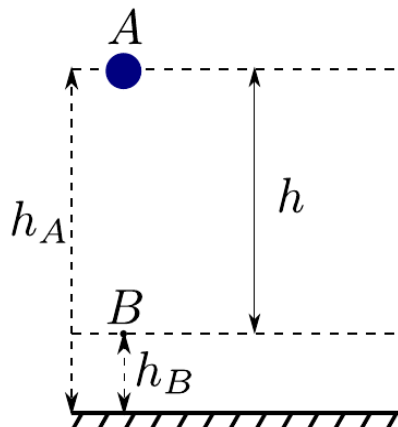


Fig.(3): Ilustração para o cálculo da diferença de energia potencial entre os pontos A e B com alturas h_A e h_B , respectivamente.

Na situação descrita acima, o deslocamento dá-se ao longo da direção e sentido de atuação da força gravitacional. Assim, estamos no caso particular em que $\cos\theta = 1$. O trabalho então é dado por

$$\begin{aligned}\tau_{P_{AB}} &= P \cdot d = Ph \\ &= mg(h_A - h_B) \\ &= mgh_A - mgh_B \\ &= E_{PG_A} - E_{PG_B}\end{aligned}$$

onde, nas equações acima, nós utilizamos que o peso de uma partícula de massa m no campo gravitacional da Terra é dado por $P = mg$ e que a energia potencial gravitacional uma altura h do plano de referência é $E_{PG} = mgh$.

3. A analogia para o caso do campo elétrico

Nós vimos que há muitas similaridades entre os campos gravitacional e elétrico. Novamente, usaremos essas similaridades para derivar o equivalente da relação entre trabalho e energia potencial gravitacional para efeitos eletrostáticos. Se traduzirmos a equação que obtivemos para o trabalho da força gravitacional, $\tau_{P_{AB}} = E_{PG_A} - E_{PG_B}$, nós podemos montar uma tabela semelhante à montada anteriormente

Fenômeno	Força	Energia Potencial	Trabalho do ponto A ao ponto B
Gravitacional	P	E_{PG}	$\tau_{P_{AB}}$
Eletrostático	F_{EL}	E_{EL}	$\tau_{F_{ELAB}}$

Usando a analogia que vimos construindo até aqui e utilizando a tabela acima, nós concluímos que o trabalho gerado pela força elétrica, para levar uma partícula carregada dum ponto A até um ponto B, é dado por

$$\tau_{F_{ELAB}} = E_{EL_A} - E_{EL_B}$$

$$\begin{aligned}
 &= qV_A - qV_B \\
 &= qU_{AB}
 \end{aligned}$$

onde U_{AB} é a diferença de potencial entre os pontos A e B .

Vamos agora entender a fórmula acima. Considere duas cargas Q (nossa carga fonte) e q (nossa carga teste), Fig. (4).

A carga Q gera um campo elétrico e, de maneira correspondente, um potencial elétrico que permeia todos os pontos do espaço. Assim, para cada ponto P do espaço, a carga Q é responsável por gerar um campo naquele ponto, tal que, se colocada uma carga q neste ponto, q será influenciada pelo campo gerado por Q naquele ponto, e, então, q sofrerá a força de interação gerada por Q mediada pelo campo elétrico. Pelo fato de o campo elétrico gerar uma força (de atração ou repulsão) sobre q , tal força realizará um trabalho sobre q à medida que a carga q se move.

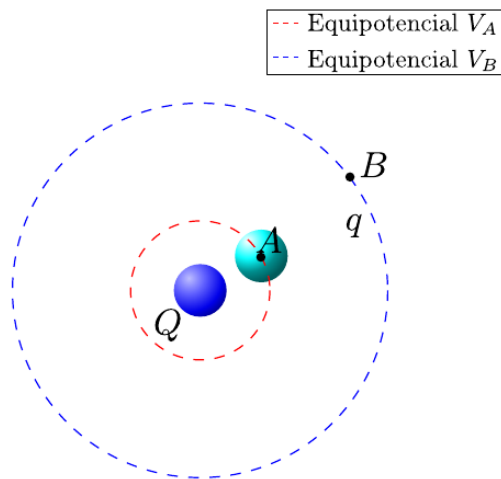


Fig. (4): Ilustração para a análise do trabalho da força elétrica ao deslocarmos a partícula do ponto A , com potencial V_A , até o ponto B , com potencial V_B . O potencial analisado é gerado pela carga Q no centro do desenho, e as equipotenciais correspondentes são desenhadas em vermelho e azul, respectivamente.

O trabalho realizado para mover a carga q de um ponto A , onde em tal ponto o valor do potencial elétrico é V_A , até um ponto B , onde o valor do potencial é V_B , é dado por

$$\tau_{F_{EL_{AB}}} = q(V_A - V_B).$$

Para entender melhor ainda os conceitos discutidos acima, vamos considerar o caso particular em que ambas as cargas são positivas, por simplicidade. Como sabemos, se as cargas são ambas positivas, existe uma força de repulsão entre elas. Isto é, a carga Q tende a empurrar a carga q para longe. Assim, se nós movermos a carga q do ponto A até o ponto B , a força elétrica dá-se-á ao longo (a favor) do movimento. Assim, o trabalho será positivo. Note que o potencial $V_A > V_B$; assim, $V_A - V_B > 0$ e o trabalho é positivo, como tinha que ser.;

E no caso contrário? Caso queiramos mover a carga q do ponto B até o ponto A ? Nesse caso a força elétrica é contrária ao movimento, e esse “dificulta” o deslocamento (como discutimos anteriormente, ele tende a diminuir a velocidade da partícula ao longo do movimento). Assim o trabalho realizado para levar a partícula de B até A é negativo. Se analisarmos a expressão para o trabalho, a diferença de potencial envolvida é $V_B - V_A$. Como $V_B < V_A$, o trabalho é negativo, como tinha que ser.