
Resolução de Problemas do Livro

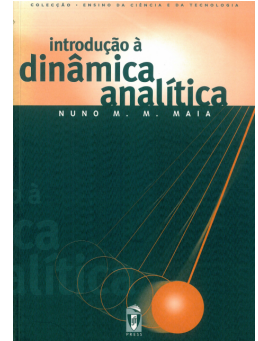
Introdução à Mecânica Analítica (Maia, N. M. M)

por

Igo da Costa Andrade

Referência

MAIA, N. M. M. **Introdução à Mecânica Analítica**. Lisboa, IST Press, 2000.



Capítulo 2: Conceitos Fundamentais

2.8 PROBLEMAS

2.1 Verifique se as seguintes expressões são ou não diferenciais exactas:

a) $dU = x^2 y dx + y^2 x dy$

Solução:

Sejam $A_x = x^2 y$ e $S_y = y^2 x$. Temos que dU será uma diferencial exata se, e somente se,

$$\frac{\partial A_x}{\partial y} = \frac{\partial A_y}{\partial x}.$$

Façamos:

$$\begin{cases} \frac{\partial A_x}{\partial y} = x^2 \\ \frac{\partial A_y}{\partial x} = y^2 \end{cases} \Rightarrow \frac{\partial A_x}{\partial y} \neq \frac{\partial A_y}{\partial x}$$

Portanto, $dU = x^2 y dx + y^2 x dy$ não é uma diferencial exata. ■

b) $dU = xy^2 dx + x^2 y dy$

Solução:

Sejam $A_x = xy^2$ e $A_y = x^2 y$. Façamos:

$$\begin{cases} \frac{\partial A_x}{\partial y} = xy \\ \frac{\partial A_y}{\partial x} = xy \end{cases} \Rightarrow \frac{\partial A_x}{\partial y} = \frac{\partial A_y}{\partial x}$$

Portanto, $dU = xy^2 dx + x^2 y dy$ é uma diferencial exata, ou seja,

$$dU = \frac{\partial U}{\partial x} dx + \frac{\partial U}{\partial y} dy,$$

em que $\frac{\partial U}{\partial x} = A_x = xy^2$ e $\frac{\partial U}{\partial y} = A_y = x^2y$. A fim de determinar $U = U(x, y)$, fazamos:

$$\begin{aligned}\frac{\partial U}{\partial x} = xy^2 &\Rightarrow U(x, y) = \int xy^2 dx = \frac{x^2 y^2}{2} \\ &\Rightarrow U(x, y) = \frac{x^2 y^2}{2} + f(y)\end{aligned}\quad (1)$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial U}{\partial y} = x^2 y &\Rightarrow U(x, y) = \int x^2 y dy \\ &\Rightarrow U(x, y) = \frac{x^2 y^2}{2} + g(x)\end{aligned}\quad (2)$$

Comparando os resultados em (1) e (2), devemos ter:

$$f(y) \equiv g(x) \Rightarrow f(y) = g(x) = \text{cte.}$$

Finalmente,

$$U(x, y) = \frac{x^2 y^2}{2} + \text{cte.}$$



2.2 Mostre que as seguintes forças são conservativas:

a) $\mathbf{F} = \frac{3}{5}x^2y^5\mathbf{i} + x^3y^4\mathbf{j}$

Solução:

Uma força \mathbf{F} é conservativa quando seu rotacional for identicamente nulo, ou seja, $\text{rot}\mathbf{F} = \mathbf{0}$. Assim,

$$\begin{aligned}\text{rot } \mathbf{F} &= \begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ \frac{3}{5}x^2y^5 & x^3y^4 & 0 \end{vmatrix} \\ &= \mathbf{i} \left[\frac{\partial}{\partial y}(0) - \frac{\partial}{\partial z}(x^3y^4) \right] - \mathbf{j} \left[\frac{\partial}{\partial x}(0) - \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{3}{5}x^2y^5 \right) \right] + \mathbf{k} \left[\frac{\partial}{\partial x}(x^3y^4) - \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{3}{5}x^2y^5 \right) \right] \\ &= \mathbf{i}(0 - 0) - \mathbf{j}(0 - 0) + \mathbf{k}(3x^2y^4 - 3x^2y^4) \\ &= 0\mathbf{i} + 0\mathbf{j} + 0\mathbf{k} = \mathbf{0}\end{aligned}$$



b) $\mathbf{F} = xy^3\mathbf{i} + \frac{3}{2}x^2y^2\mathbf{j}$

Solução:

$$\begin{aligned}\text{rot } \mathbf{F} &= \begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ xy^3 & \frac{3}{2}x^2y^2 & 0 \end{vmatrix} \\ &= \mathbf{i} \left[\frac{\partial}{\partial y}(0) - \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{3}{2}x^2y^2 \right) \right] + \mathbf{j} \left[\frac{\partial}{\partial z}(xy^3) - \frac{\partial}{\partial x}(0) \right] + \mathbf{k} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{3}{2}x^2y^2 \right) - \frac{\partial}{\partial y}(xy^3) \right] \\ &= \mathbf{i}(0 - 0) + \mathbf{j}(0 - 0) + \mathbf{k}(3xy^2 - 3xy^2) \\ &= \mathbf{0}\end{aligned}$$



- 2.3** Seja uma força $\mathbf{F} = 3x^2yz\mathbf{i} + 3xy^2z\mathbf{j} + 3xyz^2\mathbf{k}$. Calcule a expressão do trabalho elementar efectuado por esta força. Verifique se esta força é conservativa.

Solução:

Seja $\mathbf{r} = z\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k} \Rightarrow d\mathbf{r} = dx\mathbf{i} + dy\mathbf{j} + dz\mathbf{k}$. Assim, o trabalho elementar da força dada será:

$$\begin{aligned}\overline{dW} &= \mathbf{F} \cdot d\mathbf{r} \\ &= (3x^2yz\mathbf{i} + 3xy^2z\mathbf{j} + 3xyz^2\mathbf{k}) \cdot (dx\mathbf{i} + dy\mathbf{j} + dz\mathbf{k}) \\ &= 3x^2yzdx + 3xy^2zdy + 3xyz^2dz\end{aligned}$$

Para verificar se a força \mathbf{F} é conservativa, calculemos o seu rotacional:

$$\begin{aligned}\text{rot } \mathbf{F} &= \begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ F_x & F_y & F_z \end{vmatrix} = \mathbf{i} \left(\frac{\partial F_z}{\partial y} - \frac{\partial F_y}{\partial z} \right) + \mathbf{j} \left(\frac{\partial F_x}{\partial z} - \frac{\partial F_z}{\partial x} \right) + \mathbf{k} \left(\frac{\partial F_y}{\partial x} - \frac{\partial F_x}{\partial y} \right) \\ &= \mathbf{i}(3xz^2 - 3xy^2) + \mathbf{j}(3x^2y - 3yz^2) + \mathbf{k}(3y^2z - 3x^2z) \\ &= -3x(y^2 - z^2)\mathbf{i} - 3y(z^2 - x^2)\mathbf{j} - 3z(x^2 - y^2)\mathbf{k}\end{aligned}$$

Como $\text{rot } \mathbf{F} \neq \mathbf{0}$, a força \mathbf{F} não é conservativa. ■
