

3 Fluidos e o fenômeno do transporte

Assuntos

- Definição;
- Hipótese do Contínuo;
- Lei de Fick;
- Fricção Newtoniana;
- Fluxo de Couette.

Referências bibliográficas

- Notas de aula;
- Nussenzweig, Herch Moysés. Curso de Física Básica: fluidos, oscilações e ondas, calor. Vol. 2. Editora Blucher, 2018;
- Kundu, Pijush K., Ira M. Cohen, and D. W. Dowling. "Fluid Mechanics 4th."(2008): 1-277;
- Apostila do Prof. Paulo Polito.

3.1 Introdução

A definição de um fluido é mais complexa do que, inicialmente, poderíamos pensar. Neste sentido, iremos caracterizar um fluido em suas propriedades básicas, ao invés de fornecer uma definição acertiva.

Inicialmente, temos que os sólidos possuem uma forma bem definida e, em certa medida, inalterável. Já um fluido possui, normalmente, um volume bem definido, mas uma forma que se adequa ao recipiente que o contém.

Uma outra diferença significativa entre os sólidos e os fluidos é que, nos sólidos, a aplicação de uma força em sua superfície não o deforma de maneira permanente, e o mesmo retorna a sua forma original uma vez que a força cesse (deformação elástica). Nos fluidos, a aplicação de uma força, mesmo de intensidade muito pequena, é capaz de deformá-lo, ou alterar o seu arranjo molecular, de maneira permanente. Há, entretanto, sólidos que, após sofrerem a ação de uma força e a mesma cessar, alteram sua forma de maneira permanente (plástico). De maneira análoga, há fluidos que, devido a sua alta viscosidade, podem nos levar a considerá-los sólidos como, por exemplo, asfalto e gel para cabelo. Estas substâncias são chamadas viscoelásticas e não serão estudadas neste curso.

Uma outra maneira de se pensar em um fluido é usando a Hipótese do Contínuo. Para um conjunto de partículas que podem se movimentar umas com relação as outras, consideramos tratar-se de um meio contínuo se o caminho livre médio das partículas for muito menor do que as dimensões do meio. Nesta situação, não há necessidade de estudar o meio olhando para cada partícula individualmente. É possível, neste caso, observar propriedades macroscópicas médias que descrevam o estado mecânico e termodinâmico do sistema (p. ex.: temperatura e pressão).

Por fim, o foco do curso será nos fluidos com os quais temos maior contato, ou seja, a água e o ar.

3.2 Lei de Fick

Vamos imaginar um fluido em repouso, contido em um tubo de grande comprimento mas de pequeno raio, de maneira que podemos considerá-lo homogêneo na direção radial e, portanto, apenas $\partial/\partial x$ de qualquer propriedade seja não nulo. Se uma determinada substância está dissolvida neste fluido com uma concentração inicial que depende da posição x , assim, dada por $C = C(x)$, mesmo na ausência de qualquer movimento deste fluido, esta substância será transportada devido ao movimento molecular. O fluxo \vec{q} desta substância será dado pela Lei de Fick:

$$\vec{q} = -k \frac{\partial C}{\partial x} \hat{i} \quad (3.1)$$

onde k é uma constante que depende da substância e da temperatura. A unidade de medida de \vec{q} é dada em massa por área por tempo ($ML^{-2}T^{-1}$) como, por exemplo $kgm^{-2}s^{-1}$. Assim, a constante k tem unidade de L^2T^{-1} como, por exemplo, m^2s^{-1} .

Podemos pensar na Lei de Fick do ponto de vista probabilístico. Imagine, por exemplo, uma mesa de bilhar que, no início, tem todas as bolas concentradas em uma única região triangular. Após algumas tacadas aleatórias, estas bolas tendem a se espalhar de maneira mais distribuída nesta mesa.

Note que o sinal negativo do lado esquerdo da equação indica que o transporte desta substância é no sentido oposto ao do aumento de sua concentração. De maneira análoga, podemos estender este raciocínio para as 3 dimensões e ficamos com:

$$\vec{q} = -k\vec{\nabla}C \quad (3.2)$$

Esta lei pode ser aplicada para diversas propriedades, como a concentração de sal e nutrientes, por exemplo. Para a concentração de calor, que é estimado pela temperatura, temos a Lei de Fourier dada por:

$$\vec{q}_t = -k_t\vec{\nabla}T \quad (3.3)$$

onde k_t é a condutividade térmica e tem como unidade de medida, no S.I., $Jm^{-1}K^{-1}s^{-1}$ ou, de maneira equivalente, $Wm^{-1}K^{-1}$. Neste caso, o fluxo é dado, no S.I, por $Jm^{-2}s^{-1}$.

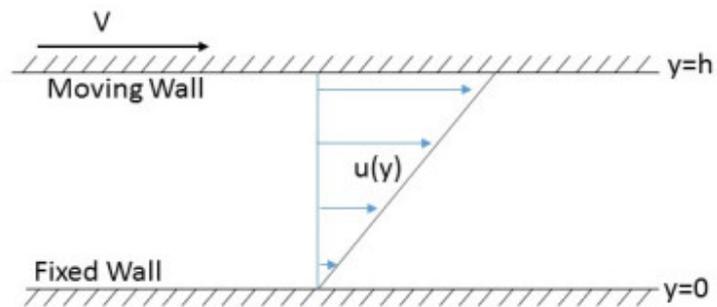
3.3 Fricção Newtoniana

Neste contexto, podemos pensar, também, na transferência de momento. Vamos imaginar um fluido preso entre duas placas paralelas que se movimentam com velocidades distintas na direção x . O fluido em contato com as placas irá se movimentar com a mesma velocidade das placas, considerando que não existe esacorregamento entre ambos. A questão que se coloca é como irá se comportar o fluido no interior? Assumindo que a velocidade deve variar na direção perpendicular ao movimento das placas ($u = u(z)$), é gerado um atrito entre as diversas camadas do fluido, conhecido como tensão de cisalhamento (τ) que é proporcional a variação da velocidade, e pode ser escrito como (Lei de Fricção de Newton):

$$\tau = \mu \frac{du}{dz} \quad (3.4)$$

onde μ é uma constante conhecida como viscosidade dinâmica.

Esta equação é bastante similar as leis de Fick e de Fourier, e trata, basicamente,



mente, de um fluxo de momento.

Exercise 9:

(Fluxo de Couette) Considere um fluido contido entre duas placas paralelas separadas por uma distância H . Assumindo que uma das placas tem velocidade igual a u_0 e a outra u_H , determine o perfil de velocidades usando a Lei de Fricção de Newton.