Introdução a Métodos Computacionais em Física
Módulo 2

Leonardo Cabral

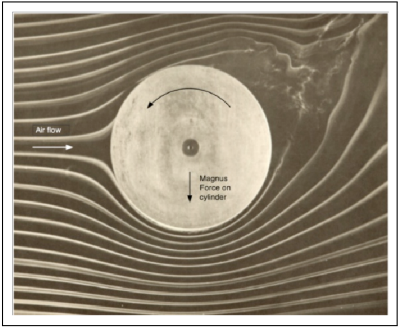
15 de agosto de 2019

Objetivo 1

Estender a aplicação dos métodos de integração estudados para movimento de corpos em 3D

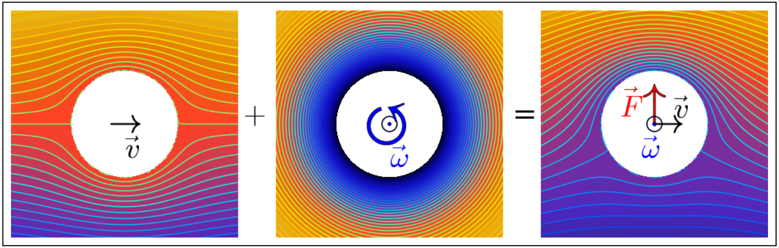
Objetivo 2

Observar a trajetória de corpos sob ação tanto da força de arrasto como da força de Magnus.
Um corpo que gira e se move translacionalmente em relação a um fluido viscoso sofre a ação da força de Magnus.



F. Brown, "See the wind blow", p. 82, 1971.

Modelo simples para força de Magnus (Despreza efeitos importantes!)



$$v_{top} \sim v + \omega R, \qquad v_{bottom} \sim v - \omega R$$

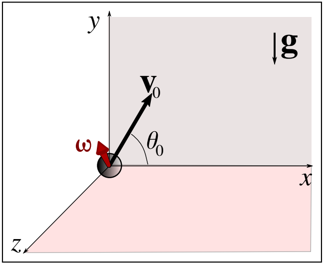
$$p + \frac{\rho}{2} v^2 = \text{constante}, \qquad \text{(Eq. de Bernoulli)}$$

$$F_{lift} \propto p_{bottom} - p_{top} = \frac{\rho}{2}\left(v_{top}^2 - v_{bottom}^2\right) \sim \frac{\rho}{2}\left[(v+\omega R)^2 - (v-\omega R)^2\right] = \rho R \omega v$$

$$F_{lift} \propto \omega v$$

UFPE

DF-UFPE



Equação de movimento

$$
\frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{\mathbf{F}}{m} = \mathbf{g} - C_d\,|\mathbf{v}|\,\mathbf{v} + C_M\boldsymbol{\omega}\times\mathbf{v}, \qquad (1)
$$

$$
\frac{d\mathbf{r}}{dt} = \mathbf{v}. \qquad (2)
$$

Tipicamente:

Bola de beisebol: $C_D \approx 6\times 10^{-3}$ e $C_M \approx 4\times 10^{-4}$.

Responda as perguntas abaixo e elabore um relatório (em pdf) sucinto descrevendo seus resultados (faça gráficos sempre que necessário para facilitar a descrição)

1. Elabore um programa para determinar a trajetória de uma esfera com velocidade angular de rotação $\boldsymbol{\omega} = \hat{x}\,\omega_x + \hat{y}\,\omega_y + \hat{z}\,\omega_z$, lançada com velocidade inicial $\mathbf{v}_0 = \hat{x}\,v_{0x} + \hat{y}\,v_{0y} + \hat{z}\,v_{0z}$, cuja equação de movimento é descrita pelas Eqs. (1) e (2). Considere $\mathbf{g} = -\hat{y}\,g$.
2. Execute seu programa e faça gráficos das trajetórias encontradas para diferentes valores de $\mathbf{v}_0$ e $\boldsymbol{\omega}$. Para simplificar, considere $\mathbf{v}_0$ de módulo constante e no plano $x - y$, com diferentes ângulos de lançamento θ_0, assim como $\boldsymbol{\omega}$ para os seguintes casos:
   2.1 $\boldsymbol{\omega} = 0$;
   2.2 $\boldsymbol{\omega}||\mathbf{g}$;
   2.3 $\boldsymbol{\omega}|| - \mathbf{g}$;
   2.4 $\boldsymbol{\omega}$ perpendicular ao plano definido por $\mathbf{g}$ e $\mathbf{v}_0$;

   Utilize C_D e C_M apropriados para uma bola de beisebol, assim como ω da ordem de 10 rad/s.

cont.

3. Compare os resultados do item anterior com a trajetória parabólica na ausência de forças de arrasto e de Magnus. Quais são as diferenças entre as trajetórias obtidas? Estime as diferenças nas alturas máximas e alcance em relação ao da trajetória parabólica. Estas diferenças são acentuadas? Se sim, em que casos?

Se ainda houver tempo, tente responder as perguntas abaixo:

4* Modifique o seu programa para calcular a trajetória de uma partícula de carga q, massa m e velocidade inicial $\mathbf{v}_0$ em uma região do espaço com campo elétrico $\mathbf{E}$ e magnético $\mathbf{B}$. Neste caso a partícula está sujeita à força de Lorentz

$$\mathbf{F} = q\left(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}\right).$$

5* Considere $\mathbf{E}$ e $\mathbf{B}$ uniformes. Execute o seu programa para diferentes valores de $\mathbf{v}_0$ e observe as trajetórias obtidas.