

Regime kleiner Reynoldszahlen ($Re \ll 1$):

$$0 = -\nabla p + \eta \nabla^2 \underline{v} + \underline{g} b$$

(Stokes Gl.)

Kinematische Reversibilität:

$$\begin{aligned} -\underline{v}(t) \text{ (sg.) falls } \nabla p &\rightarrow -\nabla p \\ \underline{b}(t) &\rightarrow -\underline{b}(t) \end{aligned}$$

5.2 Sedimentation

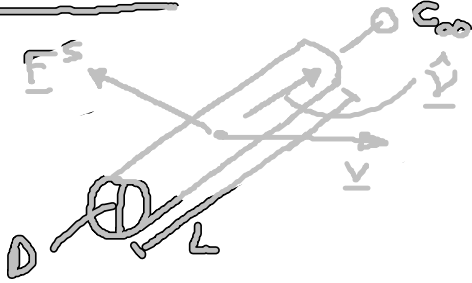


Biologische Anwendungen

5.3.1 Fortbewegung/Transport ($Re < 1$)

- Organismus in H_2O : Fortbewegung \leftrightarrow periodische, nicht reziproke Geschtsänderung
- reziproke Paddelbewegung \leftrightarrow keine Fortbewegung

• Einschub: Stokes'sche Reibung eines Zylinders



$\frac{L}{D}$.. Aspektverhältnis

i.a.: $F^s \parallel v$:

$$F_i^s = \gamma_{ij} v_j \quad (5.24)$$

γ_{ij} .. Reibungstensor

hier: invariant unter e_0 & Spiegelungen

$$(\gamma_{ij} = R_{i,i'} R_{j,j'} \gamma_{i'j'})$$

$$R \in C_0$$

$$\Rightarrow \gamma_{ij} = \gamma_{\parallel} \hat{v}_i \hat{v}_j + \gamma_{\perp} (\delta_{ij} - \hat{v}_i \hat{v}_j)$$

$$\cong \begin{pmatrix} \gamma_{\perp} & 0 \\ 0 & \gamma_{\parallel} \end{pmatrix}$$

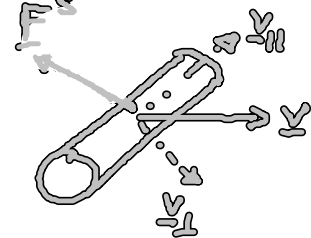
$F^s, v \parallel \hat{v}$

$F^s, v \perp \hat{v}$

Bsp:

$$\frac{\gamma_{\perp}}{\gamma_{\parallel}} = \begin{cases} \frac{2}{3} & \text{für } \frac{L}{D} \approx 20 \\ \frac{1}{2} & \text{für } \frac{L}{D} \rightarrow \infty \end{cases}$$

$$\gamma_{\perp} > \gamma_{\parallel}$$



• Bewegungsformen:

(1) flexible Wimpern / Zilien: (mit Filament & Motoren)

$L = 5-10 \mu\text{m}$, $D \approx 200 \text{nm}$

Fortbewegung von Zellen

fest verankert:
Transport von Flüssigkeit

(2) Bakterielles Flagellum $\hat{=}$ starrer, helikaler 'Stab' ($\hat{=}$ Propeller für $Re < 1$)



Rotation \rightarrow Translation: Erklärung Fig. 510

abstrakt: $\underline{F}^S \leftrightarrow \underline{\omega}$?

lin. Bez: $\underline{F}_S = \underline{\mathbb{F}} \underline{v} + \underline{\underline{C}} \underline{\omega}$ (5.25)

?

\rightarrow Transformationsverhalten unter Inversion (Punktspiegelung) ($R_{ij} = -\delta_{ij}$)

polare Vektoren: $\underline{F}_S, \underline{v} \rightarrow -\underline{F}_S, -\underline{v}$

\rightarrow Tensoren (2. Stufe): $\underline{\mathbb{F}} \rightarrow \underline{\mathbb{F}}$ (5.25)

axialer Vektor: $\underline{\omega} \rightarrow \underline{\omega} \Rightarrow \underline{\underline{C}} \rightarrow -\underline{\underline{C}}$
Pseudotensor

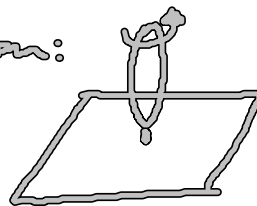
Bsp: $\underline{\underline{C}} = C \underline{1}$

$C \dots$ Pseudoskalar: $C = \pm 1$
 für Rechts/Linkschraube
 eines chiralen Objekts

Historie: Berg/Anderson (1973): erste Erklärung
 (\hookrightarrow erster Rotationsmotor)

Bestätigung: $d(\text{Flagellum}) \approx 20 \text{ nm} \rightarrow$ Beobachtbar?

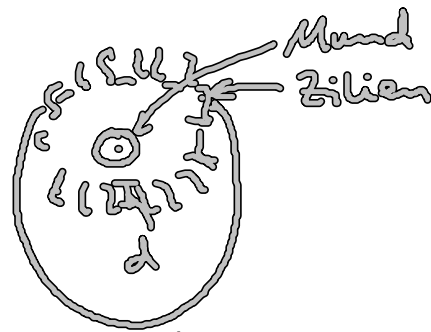
Silverman/Simon:



\Rightarrow Rotationsmotor: Juwel der Nanotechnologie

Beispiele

(1) Bewegung \leftrightarrow Ruhe
(für Nahrungsmittel-
aufnahme)



Ur tierchen

Zeitstufen: Bewegung: $\frac{d}{v}$
Diffusion: $\frac{d^2}{D}$ } \Rightarrow $\boxed{Pe = \frac{vd}{D} = \frac{d^2/D}{d/v}}$

Peclet-Zahl

$Pe \gg 1$... Diffusion ist vernachlässigbar

Bewegung für: $\frac{d}{v} < \frac{d^2}{D} \rightarrow v > \frac{D}{d}$ (5.28)

Bsp: $d = 1 \mu\text{m}$, $D = 1 \frac{\mu\text{m}^2}{\text{s}} \rightarrow v_0 \approx 1000 \frac{\mu\text{m}}{\text{s}}$

$v(\text{Zilie})$
 $v(\text{Batt})$ } $< v_0$!!