مکانیک سیالات

نیروی شناوری:

جسم شناور: جسمی را شناور می‌گویند که قسمتی از آن در یک سیال و قسمت دیگر در یک یا چند سیال دیگر قرار گرفته باشد. در سیال ساکن امتداد نیروی شناوری قائم و جهت آن همیشه رو به بالاست و مؤلفه افقی نیز ندارد.

جسم غوطه‌ور: جسمی است که تماماً در یک سیال فرو رفته باشد.

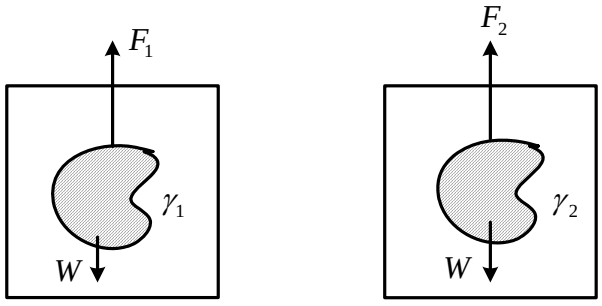
$F_B = \gamma.V$ نیروی شناوری

γ: وزن مخصوص سیال

V: حجم سیال جابه‌جا شده توسط جسم

قانون ارشمیدس: هرگاه جسمی در آب شناور باشد، به اندازه وزن آب هم حجم آن جسم به آن نیرویی به سمت بالا وارد می‌شود که برابر است با: $F = \gamma.V$.

اگر جسمی که شکل هندسی نامنظمی دارد، در دو سیال متفاوت غوطه‌ور و وزن کنیم، می‌توانیم حجم و وزن مخصوص آن را به دست آوریم.



$$F_1 + \gamma_1 V = W \qquad F_2 + \gamma_2 V = W$$

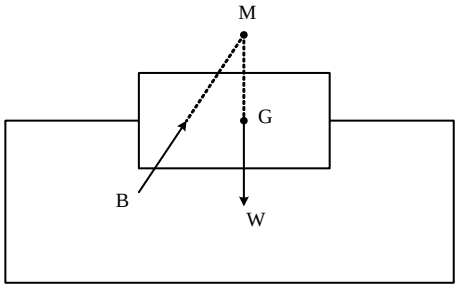
$$V = \frac{F_1 - F_2}{\gamma_2 - \gamma_1} \qquad W = \frac{F_1\gamma_2 - F_2\gamma_1}{\gamma_2 - \gamma_1}$$

تعادل و پایداری اجسام شناور و غوطه‌ور:

تعادل یک جسم می‌تواند پایدار، ناپایدار و یا خنثی باشد.

شرط کافی برای تعادل اجسام غوطه‌ور آن است که مرکز ثقل پایین‌تر از مرکز شناوری باشد.

امتداد نیروی شناوری و امتداد نیروی وزن یکدیگر را در مرکز متاسنتریک (M) قطع می‌کنند. فاصله مرکز ثقل و مرکز متاسنتریک را ارتفاع متاسنتریک می‌گویند. (MG)



W: نیروی وزن

Iyy: گشتاور دوم سطح نسبت به محور دارای نوسان

γ: وزن مخصوص سیال

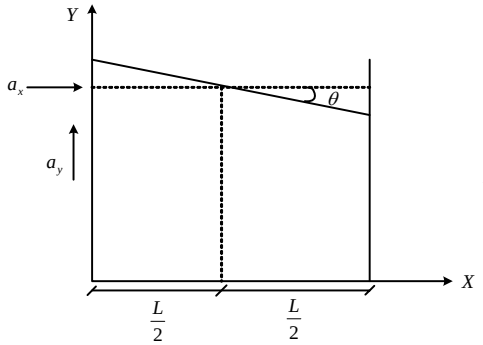
GB: فاصله مرکز ثقل از مرکز شناوری

$$MG = \frac{\gamma.Iyy}{W} - GB$$

تعادل نسبی:

در سیال متحرک، اگر هیچ لایه‌ای نسبت به لایه مجاور حرکت نکند تنش برشی در تمام نقاط آن صفر است. وقتی سیال دارای حرکت با شتاب خطی یکنواخت و یا حرکت دورانی یکنواخت حول محور قائم باشد، دارای تعادل نسبی می‌باشد.

شتاب خطی یکنواخت:

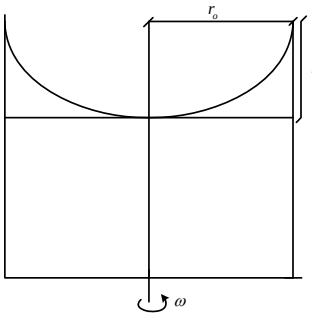


$$p = p_\circ - \gamma.\frac{a_x}{y}.x - \gamma\left(1 + \frac{a_y}{g}\right).y$$

$$\tan\theta = \frac{-a_x}{a_y + g}$$

دوران یکنواخت حول محور قائم:

مایعی که در داخل یک مخزن با سرعت زاویه‌ای ثابت دوران می‌کند، مانند جسم صلب دوران خواهد کرد و هیچ تنش برشی در مایع ایجاد نمی‌شود و تنها شتاب موجود در امتداد شعاعی و به طرف محور دوران می‌باشد.



$$P = P_\circ + \frac{1}{2}\rho r^2\omega^2 - \rho.g.y \qquad h = \frac{P}{y} = \frac{r^2\omega^2}{2g} \leftarrow \begin{cases} y = \circ \\ P_\circ = \circ \end{cases}$$

$$= \text{ارتفاع مایع داخل استوانه نسبت به راس سهمی} \frac{r_\circ^2\omega^2}{2g}$$

در یک مخزن دوار، حجم زیر سهمیگون برابر با حجم اولیه سیال است. حجم سهمیگون نصف حجم استوانه محاط بر آن است.

$$= \text{حجم مایع بالای سطح افقی گذرنده از راس سهمی} \pi r_\circ^2 \times \frac{1}{2} \times \frac{r_\circ^2\omega^2}{2g} = \frac{1}{2} \quad = \text{حجم استوانه} \frac{1}{2}\pi r_\circ^2 h$$

مایع به همان اندازه که در مرکز ظرف پایین می‌رود، در دیواره‌ها بالا می‌آید.

حرکت سیالات:

جریان آرام (لایه‌ای): سیال به صورت لایه‌ها با ورق‌هایی موازی روی همدیگر حرکت می‌کند.

جریان در هم (آشفته): ذرات به دلیل انرژی جنبشی زیاد می‌توانند در تمام مقاطع سیال حرکت کنند.

در جریان آرام، تلفات با سرعت به توان ۱ متناسبند ولی در جریان در هم با سرعت به توانی بین ۱/۷ تا ۲ متناسبند.

$$\tau = (\mu + \eta)\frac{du}{dy}$$

μ: لزجت مطلق η: لزجت گردابی

لایه مرزی، لایه‌ای از سیال است که در مجاورت مرز جامد قرار دارد و سرعت سیال در آن متاثر از تنش برشی مرز است. جریان در لایه مرزی می‌تواند آرام یا ناآرام باشد.

جریان دائمی: جریانی است که مشخصات آن در هر نقطه در طی زمان تغییر نکند $\left(\frac{\partial V}{\partial t} = \circ\right)$ V= سرعت

جریان غیر دائمی: جریانی است که مشخصات آن در هر نقطه در طی زمان تغییر می‌کند $\left(\frac{\partial V}{\partial t} \neq \circ\right)$ t= زمان

جریان یکنواخت: جریانی است که در هر لحظه، بردار سرعت در تمام فضا یکسان باشد $\left(\frac{\partial V}{\partial s} = \circ\right)$ S= بردار تغییر مکان

جریان غیر یکنواخت: جریانی است که در هر لحظه، بردار سرعت در تمام نقاط فضا تغییر می‌کند. $\left(\frac{\partial V}{\partial s} \neq \circ\right)$

اگر بردارهای سرعت موازی باشند، جریان را یکنواخت می‌گوییم.

جریان آرام و ناآرام در لوله:

جهت مشخص کردن نوع جریان در لوله‌ها از عدد رینولدز استفاده می‌کنند (R_e) $R_e = \frac{\rho V.D}{\mu}$

جریان آرام $R_e < ۲۰۰۰$

جریان انتقالی $۲۰۰۰ < R_e < ۴۰۰۰$

جریان آشفته $R_e < ۴۰۰۰$

V: سرعت ρ: دانسیته

قانون بقای جرم:

بر اساس این قانون، جرم یک سیستم در طی زمان تغییر نمی‌کند. $\frac{dm}{dt} = o \rightarrow \frac{dm_۱}{dt} = \frac{dm_۲}{dt}$

$dm_۱$: سیال ورودی $dm_۲$: سیال خروجی

$$\rightarrow \int \rho V dA = cte \rightarrow \rho.V.A = \text{ثابت} \rightarrow \rho_۱ V_۱ A_۱ = \rho_۲ V_۲ A_۲$$

$$\rho = \text{ اگر ثابت} \rightarrow Q = V_۱A_۱ = V_۲A_۲ = cte$$

معادله پیوستگی (سیال تراکم‌پذیر و جریان غیر دائمی). $\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho \omega)}{\partial z} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = ۰$ $\vec{\nabla}.(\rho\vec{V}) + \frac{\partial \rho}{\partial t} = ۰$

اگر سیال تراکم‌ناپذیر باشد $(\rho = cte)$ داریم. $\frac{du}{dx} + \frac{dv}{dy} + \frac{d\omega}{dz} = ۰$

معادله اویلر : $\frac{۱}{\rho}.\frac{\partial \rho}{\partial s} + g\frac{\partial z}{\partial s} + v\frac{\partial v}{\partial s} + \frac{\partial v}{\partial t} = ۰$ $\frac{\Delta p}{\rho} + gdz + v.dv = ۰$

فرضیات به کار رفته در معادله برنولی: معادله برنولی: $gz + \frac{v^۲}{۲} + \frac{p}{\rho} = cte$

۱- در امتداد خط جریان تک بعدی است.

۲- جریان پایدار است.

۳- بدون اصطکاک است.

٤- چگالی ثابت می‌باشد (تراکم‌ناپذیر)

معادله برنولی برای دو نقطه روی خط جریان را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$z_۱ + \frac{p_۱}{\gamma} + \frac{v_۱^۲}{۲g} = z_۲ + \frac{p_۲}{\gamma} + \frac{v_۲^۲}{۲g}$$

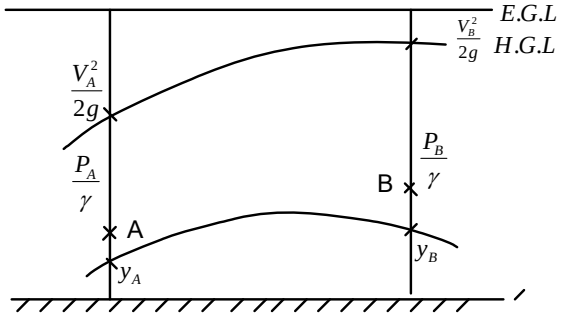
افت انرژی: $z_۱ + \frac{p_۱}{\gamma} + \alpha_۱\frac{v_۱^۲}{۲g} = z_۲ + \frac{p_۲}{\gamma} + \alpha_۲\frac{v_۲^۲}{۲g} + h_f$

α: ضریب تصحیح انرژی جنبشی $\alpha = \frac{۱}{A}\int_A \left(\frac{v}{\bar{V}}\right)^۳ .dA$

$\alpha = ۲$: جریان آرام در لوله‌ها

$۱/۱ > \alpha > ۱/۰۱$: جریان آشفته در لوله‌ها

خطوط انرژی و فشار:



E. G. L: خط تراز انرژی است که شامل $\frac{p}{\gamma} + \frac{v^۲}{۲g} + z$ می‌باشد.

H. G. L: خط تراز هیدرولیکی است که شامل $\frac{p}{\gamma} + z$ می‌باشد.

اختلاف در خط فوق نیز هد سرعت می‌باشد که همواره $\frac{v^۲}{۲g}$ است.

در جریان دائم اگر مقطع جریان ثابت باشد. دو خط با هم موازی هستند.

پمپ و توربین:

$$\frac{p_1}{\gamma}+z_1+\frac{v_1^2}{2g}+h_p=\frac{p_2}{\gamma}+z_2+\frac{v_2^2}{2g}+h_f+h_T$$

h_p: هدپمپ h_f: افت انرژی

h_T: هدتوربین

ارتفاع کل پمپ: مقدار قدرت مفیدی که توسط پمپ به واحد وزن سیال منتقل می‌شود (H).

s ورودی و d خروجی می‌باشد.

$$H=\frac{p_d-p_s}{\gamma}+(z_d-z_s)+\frac{v_d^2-v_s^2}{2g}$$

$$\text{بازده توربین } \eta=\frac{\rho}{\rho gh.Q}\ (\text{توان تولیدی})$$

$$\text{بازده پمپ } \eta=\frac{\rho gh.Q}{\rho}\ (\text{توان مصرفی})$$

کاویتاسیون:

هرگاه در حین جریان مایع در پمپ، فشار در نقطه‌ای از فشار بخار مایع در دمای مربوطه کمتر باشد، حباب‌های بخار به وجود می‌آید که به نقاط با فشار کمتر حرکت می‌کند که این پدیده کاویتاسیون نام دارد.

ارتفاع مثبت خالص مکش (NPSH):

هد لازم در قسمت ورودی پمپ برای جلوگیری از کاویتاسیون به صورت زیر تعریف می‌گردد.

$$NPSH=\frac{p_i}{\rho g}+\frac{v_i^2}{2g}-\frac{p_{vap}}{\rho g}\qquad Z_{max}=\frac{p_a}{\gamma}-(NPSH+\frac{p_{vap}}{\gamma}+h_L)$$

z_{max}: ماکزیمم ارتفاعی که پمپ می‌تواند بالاتر از سطح مایع نصب شود.

$p_i;v_i$: سرعت و فشار در ورودی پمپ

h_L: افت فشار بین مکش و وردی پمپ

ترکیب پمپ‌ها:

۱- پمپ سری: اگر دبی پمپ مناسب ولی هد آن کم باشد، آنها را به صورت سری به هم وصل می‌کنند.

$$Q_T=Q_1=Q_2\qquad H_T=H_1+H_2$$

۲- پمپ‌های موازی: اگر هد پمپ مناسب ولی دبی آن کم باشد، پمپ‌ها را به صورت موازی به هم متصل می‌کنند.

$$Q_T=Q_A+Q_B\qquad H_T=H_A+H_B$$