



دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی مکانیک

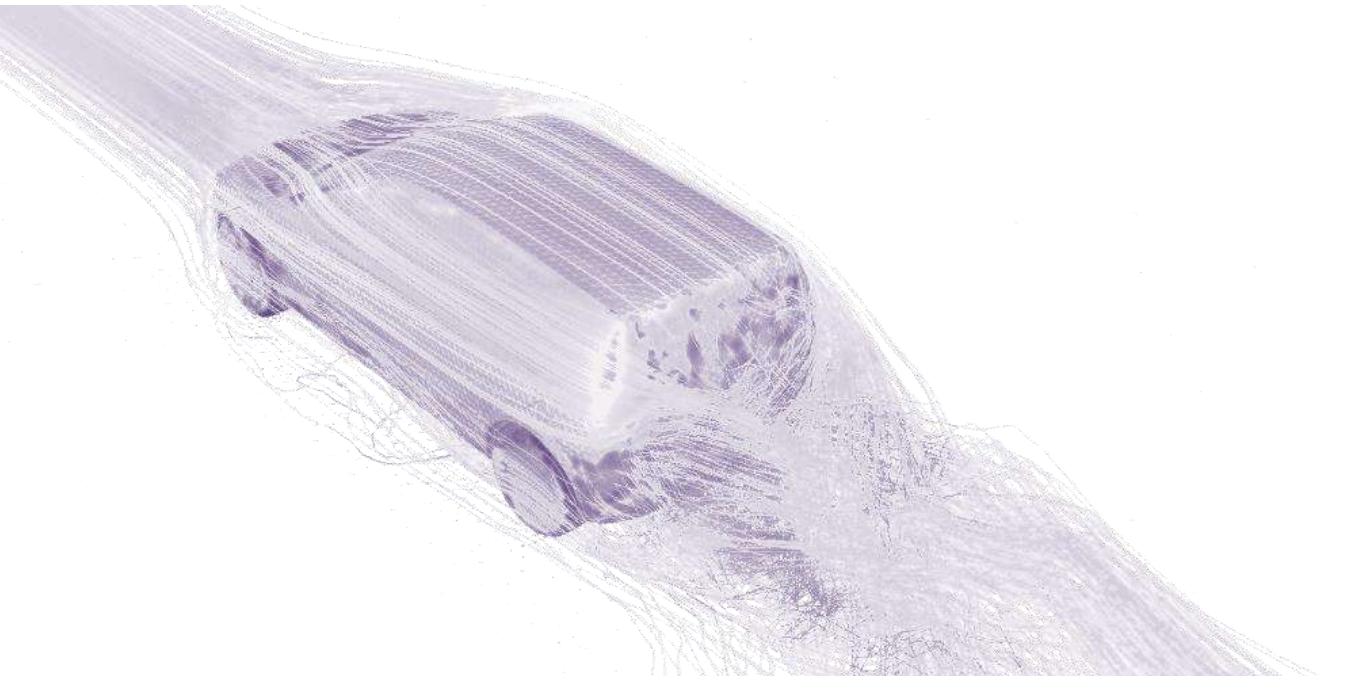
جزوه درس:

مکانیک سیالات

استاد: دکتر محسن ثقفیان و دکتر احمدرضا عظیمیان

دانشجو: مهندس علی نصر

نیمسال دوم ۸۹-۱۳۹۰ و نیمسال اول ۹۰-۱۳۹۱



فصل ۱ - خواص سیال

هدف از آنالیز مکانیک سیالات یعنی توزیع سرعت و فشار سیال در یک شکل هندسی مشخص است
سیال ماده‌ای که تحت تنش برشی به صورت پیوسته تغییر شکل دهد

خواص گازها

- ۱- تراکم پذیر
- ۲- عدم شکل سطح آزاد
- ۳- عدم حجم معینی - جاری بودن
- ۴- اثر نیروی جاذبه (بر نیروی فشاری) ناچنانچه اصلی کم است

خواص مایعات

- ۱- تراکم ناپذیر
- ۲- شکل سطح آزاد
- ۳- انتقال حجم معینی

تنش در سیال از جهت تراز و یک نسبت اسکالار است ولی در جامدات جهت دارند
لزجت = ویسکوزیته معادست سیال در مقابل نیروهای وارده در ایجاد تنش برشی

عامل اصلی انتقال موستوم در لایه‌های سیال هنگامی ظاهری شود که بین لایه‌های سیال حرکت نسبی وجود نداشته باشد
 عوامل لزجت: ۱- نیروی جاذبه مولکولی Cohesive (در مایعات) ۱/2
 ۲- نیروی تبادلی موستوم مولکولی (در گازها) 15

$$\mu = ae^{-bT} \quad \mu = \left(\frac{T}{T_0}\right)^n$$

رابطه لزجت در مایعات
 لزجت در مایه‌های $T_0 = 273$

در مایعات با افزایش دما نیروهای بین مولکولی کاهش یافته به لزجت کاهش یافته
 در گازها با افزایش دما تعداد برخوردها زیاد شده و تبادل موستوم مولکولی افزایش یافته به افزایش لزجت
 میزان تغییرات لزجت با دما در مایعات بیشتر از گازها است
 در فشارهای معمولی لزجت مستقل از فشار است ولی در فشار بالا لزجت مایعات و گازها با افزایش فشار، افزایش می‌یابد

می‌توان گفت در مایعات با افزایش دما، سرعت برخورد مولکولی افزایش یافته ولی طول برخورد کاهش می‌یابد و خفگی لزجت گازها مستقل از فشار است

سیال ایده آل سیال ایده آلی دارای لزجت صفر و درکلم پذیر است
 گاز ایده آل سیالی که لزجت آن غیر صفر و درکلم پذیر باشد
 قانون لزجت μ

گرادیان سرعت $\frac{du}{dy} = \mu = \tau$ تنش برشی

5

سیال نیوتنی سیالی که از فرمول خون پیروی کند

$$\tau = \mu \frac{v}{h}$$

بینی نوعی

* تنش برشی و لزجت مستقل از فشار است
 * قانون لزجت برای جریان آرام صادق است

10

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

لزجت سینماتیک لزجت وینامیک بر چگالی

1/2

* لزجت سینماتیک تابع فشار است (گاز)
 * افزایش فشار، لزجت سینماتیک گازها کاهش یافته و ویسکوزیته نامع فشار نیست
 * تغییرات لزجت سینماتیک گازها با دما و اثر از تغییرات لزجت وینامیک است

15

واحد μ \rightarrow $\frac{kg}{m \cdot s}$ $\frac{N \cdot s}{m^2}$ $Pa \cdot s$ واحد لزجت
 $\frac{ML^{-1}T^{-1}}{ML^{-3}} = ML^{-2}T^{-1}$ $FL^{-2}T$

20

$\frac{CGS}{\rightarrow}$ poise $g/cm \cdot s$

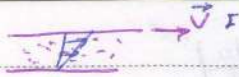
1 poise = 0.1 kg = 0.1 Pa.s

1 cP = $10^{-3} Pa \cdot s$

25

$\nu \rightarrow \frac{m^2}{s}$ استوکر cm^2/s
 $L^2 T^{-1}$

1 st = $10^{-4} m^2/s$

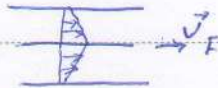


حرکت یک صفحه روی سیال
(فاصله صفحات کم، سرعت حرکت بزرگی)

$$F = \tau A = \mu A \frac{v}{h}$$

حرکت بینی دو سیال

$$F = A v \left(\frac{\mu_1}{h_1} + \frac{\mu_2}{h_2} \right)$$



$$u = R\omega$$

حرکت بینی دو استوانه موازی

$$F = F_R = \tau A R = \mu \frac{u}{y} (2\pi R L) R = \frac{2\pi R^3 L \mu \omega}{b}$$

حرکت وگت در وارده از طرف کف استوانه

$$dF = \tau dA = \mu \frac{du}{dy} (2\pi r dr) \quad dT = r dF \quad T = \frac{\pi R^3 \omega \mu}{3a}$$

مقطع تپه دار

$$F_f = W \sin \theta$$



$$F_f = \tau A = \mu \frac{v}{y} A$$

$$y = \frac{\mu v A}{W \sin \theta}$$

حرکت یک استوانه داخل استوانه ای دیگر با سرعت

$$W = mg = \rho V g = \rho \left[\frac{\pi d^2 L}{4} \right] g$$

$$F_f = \tau A = \mu \frac{du}{dy} A = \mu \frac{v}{y} \pi d L \rightarrow v = \frac{\rho d g y}{4 \mu}$$

سیالات غیر نیوتنی مستقل زمان

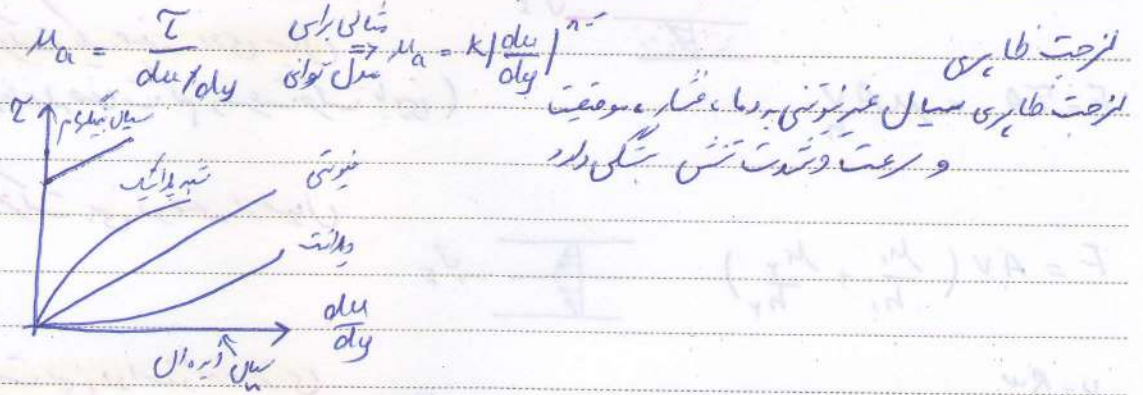
وابسته به زمان

سیالات غیر نیوتنی سیالی که از قانون لزجت پیروی نمیکنند

سیال رئالانت (انسانی) - افزایش تنش برش - مقاومت بیشتر [سیال نیوتنی با هم مقایسه]
 سیال شبه پلاستیک - افزایش تنش برش - کاهش مقاومت [مخبر کاغذ، شکر، گل]
 سیال نیوتنی - n < 1 شبه پلاستیک - n > 1 رئالانت
 سیال نیوتنی - تحت تنش کمتر از تنش تسلیم رفتار پلاستیک

$$\tau = \tau_y + \mu_p \frac{du}{dy}$$

Pseudoplastic = شبه پلاستیک



سیال غیر نیوتنی علاوه بر نوع سیال بر نوع جریان هم بستگی دارد

- 10 سیال نیوتنی } ۱- سیالات نیوتنی و ویسکوز \rightarrow با داشتن ثابت با گذشت زمان \rightarrow در وقت می شود
- وابسته به زمان } ۲- سیال روتوکسیک \rightarrow با داشتن برش ثابت با گذشت زمان \rightarrow غلظت می شود
- 1/2 فرض برستی سیال
- ۱- فاصله آزاد متوسط باید بسیار کوچکتر از ابعاد سیستم باشد
- ۲- زمان بینی در حضور بسیار کم است

طبقة بندی جریان گاز می رقیق است فاصله آزاد متوسط \rightarrow طول مشخصه ای از جمع

الف) کم \rightarrow گاز استاتی

ب) زیاد \rightarrow جریان ماکولول آزاد

ج) بینی حالت انوب \rightarrow رژیم لغزنی

چگالی $\rho = \frac{m}{V}$ $\frac{kg}{m^3}$ حجم واحد حجم سیال

چگالی سیالات و گازها با افزایش دما کاهش می یابد

- در فشار استاندارد دمای ۲۰°C چگالی آب ۹۹۸,۲ $\frac{kg}{m^3}$ و چگالی هوا ۱,۲۰۵ $\frac{kg}{m^3}$

وزن مخصوص وزن واحد حجم سیال N/m^3
 $\gamma = \rho g$
 $\gamma = \frac{W}{V}$
 رفتار اتمسفر در بالای ۲۰۰ م: وزن مخصوص آب $9790 \frac{N}{ft^3}$ (۶۲۴/۱۶) و وزن مخصوص هوا $11.8 \frac{N}{ft^3}$
 $0.0012 \frac{lb}{ft^3}$

۵ حجم مخصوص عکس چگالی - حجم اشغال شده توسط واحد حجم سیال
 $\gamma = \frac{1}{\rho}$ m^3/Kg

چگالی نسبی چگالی ماده به چگالی سیال مرجع
 $s = \frac{\rho}{\rho_r}$

چگالی هوا در چگالی آب مرجع اند 10

کشش سطحی σ

قطره $\Delta P = \frac{2\sigma}{r}$

شماره شدن یک سکه $F = \sigma \times \text{مساحت}$ $1/2$

حباب $\Delta P = \frac{4\sigma}{r}$

15

حباب استوایی $\Delta P = \frac{\sigma}{r}$

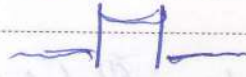
سطح مشترک خمیده $\Delta P = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$

۲۰ کشش سطحی با افزایش راندها، کاهش می یابد

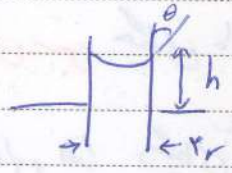
زاویه تماس کمتر از ۹۰° ← تر می کند
 بیشتر از ۹۰° ← تر نمی کند

۲۵ کثافت نسبی یا نقل مخصوص $\frac{\text{وزن جسم در هوا}}{\text{وزن جسم در آب}}$

۱- موئینگی: میزان چسبندگی مایع به جامه از پدیدگی مایع بیشتر باشد [آب مایل بالا رفتن و سطح آن مقعر می شود]



۲- اگر میزان چسبندگی مایع به جامه کمتر از پدیدگی مایع باشد [مجموعه روغن] مایع مایل پایین تر می رود و سطح محدب می سازد



$$h = \frac{2\sigma \cos\theta}{\rho g r}$$

صعود موئینگی به جنس جامه، شعاع لوله، زاویه تماس

اگر $\theta < 90^\circ \rightarrow h$ مثبت اگر $\theta > 90^\circ \rightarrow h$ منفی

$$h = \frac{2\sigma \cos\theta}{\rho g d}$$

صعود بینی دو صند

$$h = \frac{2\sigma \cos\theta}{\rho g (r_2 - r_1)}$$

صعود بینی دو لوله هم محور

$$E_v = -\frac{dp}{dV} = \frac{dP}{d\rho}$$

ضریب کشسانی حجمی مولد الاستیسیته بالک

E_v همواره مثبت است علامت منفی نشان می دهد تا افزایش فشار حجم کاهش می یابد

در فرآیند ایزتات، ضریب کشسانی حجمی برابر $E_v = P$

در فرآیند ایزتروپیک، ضریب کشسانی حجمی برابر $E_v = K P$ که $K = \frac{C_p}{C_v}$

$$P = P_0 \exp\left(\frac{P - P_0}{E_v}\right)$$

تغییرات چگالی با فشار برای بوی مایع

$$c = \sqrt{\frac{dP}{d\rho}} = \sqrt{\frac{E_v}{\rho}}$$

رابطه صوت

$$c = \sqrt{KRT}$$

$$P = \rho R T$$

$$c = \sqrt{\frac{K P}{\rho}}$$

سیالات در ذبح تنش برشی و فشاری را تحمل می کنند در خود استقلال می دهند
تنش برشی در سیالات در حال حرکت بوجود می آید و مستالز می دارد. و سیالات ساکن در سیالات با حرکت صلب گندیده تنش برشی
فشاری یا قائم دای می توانند تحمل کنند
فشار نیروی وارد شده از طرف سیال بر واحد سطح آن نقطه در سیالات فشار در هر نقطه حاصل فرض می شود و در آن نقطه
در ارتفاع بالاتر از آن نقطه است

قانون پاسکال فشار در هر نقطه از یک سیال ساکن در کلیه جهات یکسان بوده

اگر سیال ساکن نبوده، فشار در یک نقطه را با یک گین فشار در جهات مختلف از نظر عمود بر

معادله اول: محدودیت ۱:۰:۶ - تنش برشی صفر $\tau = 0$ نیروی گرانشی تنها نیروی عمده ρg $\Delta P = \rho g \Delta h$ $\Delta P = \rho g k = \rho a$ $\Delta P = \rho g k = \rho a$
سیال ساکن $a = 0$

$$\frac{dP}{dz} = -\rho$$

$$P = P_0 + \rho gh$$

۱ سیالات تراکم ناپذیر در سیالات تراکم ناپذیر چگالی ثابت بوده

* در سیال ساکن ۱- تغییرات فشار در جهت قائم عمودی است ۲- تغییرات فشار در جهت افقی صفر است
* برای سیال چگالی تراش ثابت تدرجات

۲ دما ثابت برای گاز ایده آل در جهات دما ثابت

$$P = P_0 \exp\left[-\frac{\rho_0}{P_0} g (z - z_0)\right]$$

$$P = P_0 \exp\left[-\frac{g}{R T_0} (z - z_0)\right]$$

$$P = P_0 \left[1 - \frac{n-1}{n} \frac{\rho_0}{P_0} g (z - z_0)\right]^{\frac{n}{n-1}}$$

$$T = T_0 \left[1 - \frac{n-1}{n} \frac{\rho_0}{P_0} g (z - z_0)\right]$$

$$T = T_0 - m z$$

$$m = 1.0045 \frac{15}{m} \quad (z = 10 \text{ km})$$

$$= 1.01325 \text{ bar}$$

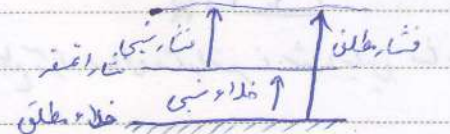
$$P = 1 \text{ atm} = 1.01325 \text{ Pa} = 1.01325 \text{ Psi} = 1.01325 \text{ mHg} = 760 \text{ mmHg}$$

خلا: فشار کمتر از فشار اتمسفر
فشار اتمسفر فشار در سطح آزاد دریا
فشار مطلق فشار نسبت به خلاء مطلق اندازه گیری شود

فشار نسبی فشار نسبت به فشار اتمسفر اندازه گیری شود

$$P_{obs} = P_{gage} + P_{bar}$$

(فشار اتمسفر + فشار نسبی = فشار مطلق)
فشار خلاء (نسبی) فشار نسبی منفی باشد (فشار کمتر از فشار اتمسفر باشد) فشار نسبی - = خلاء نسبی



$$P_{atm} = \text{mm Hg} \times 133.322 \times 10^{-3} = \text{mm Hg} \quad 1.01325 \text{ KPa} = 760 \text{ mm Hg}$$

Subject

Year Month Date ()

Page ()

$$P_{atm} = \rho_{Hg} g h$$

$$P_A = \gamma h$$



بار مترجمیده ای اندازه گیری فشار اتمسفر محلی

پیزومتر اندازه گیری فشار ای سی باری

فشار ای سفی رایی تان با پیزومتر اندازه گیری کرد

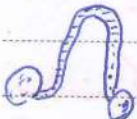
با توجه به اینکه گاز دارای طبع آزاد نیست پس تان از پیزومتر جهت اندازه گیری فشار گاز استفاده کرد

مانومتر اندازه گیری فشار ای سی شیب و سفی



در لوله آبرو کت به سمت پایین باشد علامت فشار مثبت و اگر به سمت بالا باشد علامت آن سفی منفی خواهد بود

$$P_A + \gamma_1 h_1 = \gamma_2 h_2 = 0$$



مانومتر ویبراسیون اندازه گیری اختلاف فشار دو مخزن با دو نقطه از یک لوله

$$P_A = \gamma R \sin \theta$$



مانومتر مایل اندازه گیری اختلاف فشار ای سی

بیکر و مانومتر اندازه گیری اختلاف فشار ای سی باری

فشار مطلق خوردن اندازه گیری فشار نسبی (فشار نسبت به فشار اتمسفر محلی)

1/2

فشار در یک سطح متحرک $F = P_c A = \gamma h A$

نیروی سببه استتیک دارد بر سطح صاف

15

مقدار نیرو مستقل از زاویه سطح آزاد و شکل آن و نیز عمود بر سطح است

$$x_p = \frac{1}{F} \int x p dA$$

$$y_p = \frac{1}{F} \int y p dA$$

$$x_p = \bar{x} + \frac{I_{xy}}{yA}$$

$$y_p = \bar{y} + \frac{I_{xy}}{xA}$$

I_{xy} حاصل ضرب اینرسی I_x و I_y در دو محور

x, y افزایش ارتفاع جامع مرکز فشار بر یک سطح نزدیک می شود

$$I_G = \frac{1}{12} b a^3 \quad I_{xy} = 0 \quad A = ab \quad \left[\frac{a}{2} \right] a$$

$$I_G = \frac{\pi R^4}{4} \quad I_{xy} = 0 \quad A = \pi R^2 \quad \left[\frac{R}{2} \right] R$$

$$I_G = \frac{1}{12} b a^3 \quad I_{xy} = \frac{1}{12} b a^2 (b - 2d) \quad A = \frac{1}{2} ab \quad \left[\frac{a}{2} \right] a$$

$$I_G = \frac{1}{12} b a^3 \quad I_{xy} = 0 \quad A = \frac{1}{2} ab \quad \left[\frac{a}{2} \right] a$$

$$I_G = 9.10974 R^4 \quad I_{xy} = 0 \quad A = \frac{1}{2} \pi R^2 \quad \left[\frac{R}{2} \right] R$$

مستطیل

دایره

مثلث

نیم دایره

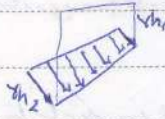
اگر فشار ای سی طبع آزاد و حال فشار اتمسفر باشد پس این فشار را به استتیک نقل میال تبدیل کرد

25

$$F = \gamma V$$

نیروی پیدایش استاتیکی دارد بر سطح عمود افقی برابر وزن بالای سیال است

$$F = \gamma V$$



در سطح عمود افقی

نیروی پیدایش استاتیکی دارد بر سطح عمود عمودی

$$F_H = P_c A = \gamma h A$$

مؤلفه افقی نیروی دارد بر تقعر سطح عمود بر صفحه قائم

$$F_V = \gamma V$$

مؤلفه عمودی قائم وزن سیال که از روی سطح عمود بر سطح آزاد سیال به صورت قائم قرار گرفته

$$F = \sqrt{F_H^2 + F_V^2}$$

$$\tan \alpha = \frac{F_V}{F_H}$$

زاویه قرارگیری

شناوری بر گاه جسمی به وزن مخصوص γ_1 در داخل سیالی به وزن مخصوص γ_2 قرار گیرد

$$F_B = \gamma_2 V$$

۱- اگر $\gamma_1 > \gamma_2$ جسم در داخل سیال فرو رفته و شناوری شود

۲- اگر $\gamma_1 < \gamma_2$ جسم روی سیال شناوری یابد و معادل وزنی برقرار می شود که وزن سیال جابجا شده برابر وزن آن باشد

$$F_B = W = \gamma_1 V$$

۳- اگر $\gamma_1 = \gamma_2$ جسم در حالت خنثی

* از قوانین شناوری در چگالی بیخ استفاده می شود

* اگر جسمی W_1 وزن ظاهری در سیال ۱ و W_2 وزن ظاهری در سیال ۲ و γ_1 و γ_2 وزن مخصوص سیال در سیال ۱ و ۲

$$W_1 = W - \gamma_1 V \quad W_2 = W - \gamma_2 V \quad \rightarrow \quad V = \frac{W_1 - W_2}{\gamma_1 - \gamma_2} \quad \text{و} \quad W = \frac{W_1 \gamma_2 - W_2 \gamma_1}{\gamma_2 - \gamma_1}$$

* اگر جسمی در هوا وزن W در سیال γ_1 داشته باشد $W_1 = W - \gamma_1 V$ داشته باشد

* اگر از سیال چند لایه داشته باشیم (که با هم سیال جابجا شده اند)

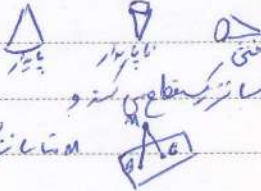
$$F_B = \sum_{i=1}^n \gamma_i V_i$$

۲۰ پایداری اجسام شناور و غوطه‌ور

تقابل می تواند به صورت پایدار یا ناپایدار و خنثی باشد

نقطه ساکن مرکز اگر یک خط قائم از مرکز شناوری عبور کند خط تقابل هم از نقطه ساکن مرکز می گذرد

فصل نقطه ساکن مرکز از مرکز شناوری در راستای خط ساکن مرکز می گذرد



$$\bar{M}G = \frac{I}{V} + G\bar{B}$$

۲۵ I میان اینرسی سطح حول محور V حجم کل مایع

G با B می ترازند به علاوه r در G با B ترازند r به علامت منفی

$$g = ۳۲۲ \frac{ft}{sec^2}$$

برای تعادل اجسام غیر طرودر
اگر مرکز ثقل پایینی از مرکز ثقل بالایی بالاتر باشد، اگر مرکز ثقل بالایی از مرکز ثقل پایینی پایینتر باشد، اگر مرکز ثقل بالایی و پایینی در یک خط عمودی باشند، اگر مرکز ثقل پایینی از مرکز ثقل بالایی بالاتر از نقطه تماس است، اگر مرکز ثقل پایینی از مرکز ثقل بالایی پایینتر از نقطه تماس است

$$P = P_0 + \rho g h$$

حرکت مبدل گویالات

$$P = P_0 - \rho a_x x - \rho (1 + \frac{a_y}{g}) y$$

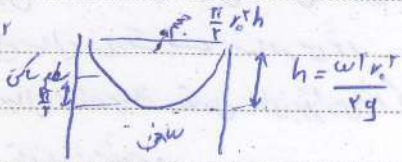
حرکت مبدل جفتی سیالات

$$a = [a_x^2 + (a_y + g)^2]^{\frac{1}{2}}$$

تندی مبدل a_x و a_y حرکت کند

شیب طرود قنار $\frac{a_x}{a_y + g}$

$$P = P_0 - \rho g y + \frac{1}{2} \rho r^2 \omega^2$$



حرکت عرضی گویالات

تشن کشش در پوسته استوانه دگره

$$\sigma = \frac{Pr}{e}$$

تشن کشش جداره استوانه

$$\sigma = \frac{Pr}{2e}$$

تشن کشش برای پوسته دگره

تشن کشش

20

25

فصل ۳ - تجزیه و تحلیل جریان سیالات

دسته بندی جریان سیالات

۱- جریان آرام در پیم - جریان آرام: ذرات سیال مسیر ای منظم و همپارسی را طی می کنند و لایه های سیال به آرامی می لغزند و از قانون لزجت نیوتن و قانون استوکس پیروی می کنند

۵ جریان در پیم: ذرات سیال مسیر ای نامنظمی را طی نموده و انتقال موستقیم از یک ناحیه به ناحیه دیگر انجام می شود

و برای جریان داریم $\frac{dy}{dx} = (u + v)$ تا که η لزجت گردابی وابسته به سیال و میزان در پی و μ لزجت

در مورد در بر و جریان آرام به جریان در پیم تبدیل می شود اگر لزجت سیال پایینی ۲ سرعت جریان بالا ۳ و جاری بزرگ جریان

۲- جریان لزج و غیر لزج: جریان غیر لزج: اثرات لزجت صرف نظر شده و $\mu = 0$

ناحیه کنار دیواره برزیک محدود است تنش برشی وجود دارد و این لایه مرزی است و در بر و در این ناحیه سرعت برابر سرعت توده سیال است و می توان از نظریه سیالات غیر لزج بهره برد

۳- جریان تراکم پذیر و تراکم ناپذیر: تغییرات چگالی قابل صرف نظر است

۱/۲ در حالت کلی مایعات تراکم ناپذیر و گازها تراکم پذیر است ولی میزان فشار در این قانون کلی موثر است

۱۵ - جریان ای گاز می لایه عدد ماخ کوچکتر از ۰.۳ را می توان تراکم ناپذیر از نظر گرفت

۴- جریان پایا و ناپایا: جریان پایا در آن حالت آن اعداد زمان تغییر نکند

μ خاصیت سیال و اگر $\frac{\mu}{\rho L} = 0.5$ جریان پایا ولی μ می تواند نسبت به یک نقطه دیگر متفاوت باشد

۵- جریان بکیراخت و غیر بکیراخت: بکیراخت: در هر نقطه بر دار سرعت ν در امتداد خط جریان در کلید ثابت است $\frac{\nu}{\rho L} = 0$ مسامت

۲۰ اگر سرعت در امتداد جریان افزایش یابد جریان قد شونده و اگر کاهش یابد آن را کند شونده می نامیم

جریان غیر بکیراخت: مثال ۱- جریان در یک لوله عمیده ۲- جریان آب در دهانه ۳- جریان در یک لوله با مقطع متغیر

۶- جریان یک بعدی و چند بعدی: جریان یک بعدی: تغییرات سرعت و فشار در جهت عمود بر جریان صرف نظر از

و مقادیر این مشخصات به صورت متریک یا معیاری بیان شود

۷. جریان چرخشی و غیر چرخشی: جریان چرخشی: ذرات سیال در میدان جریان دارای حرکت چرخشی هستند مثل جریان در پشت ایر فریلا. و جریان غیر چرخشی مثل جریان ماژجت کم مانند جریان هوا در زمانی که گراوان سرعت کم باشد.

۸. جریان اینرژتویک: جریان آنریدی ثابت به جریان آریا یا تک برت پذیر اطلاق می شود.
- جریان برکت یا پیرسی براند اینرژتویک مانند وانگه انتقال گرما دقیقاً به منزله است که مقدار آنریدی ثابت است.

میدان سرعت

بردار سرعت

$$V = u\mathbf{i} + v\mathbf{j} + w\mathbf{k} \quad u = \frac{dx}{dt} \quad v = \frac{dy}{dt} \quad w = \frac{dz}{dt}$$

درگاه اولی نقطه ثابتی از فضا را در نظر گرفته و جهت این دسته ای از ذرات سیال را در از این نقطه که در آن است و دقیقاً در یک
دیرگاه لاگرتیمی حرکت یک ذره منفرد را در هر سی که معنی پیموده حرکت می کنیم برای پژوهش $x(t), y(t), z(t)$

$$a = \frac{DV}{Dt} = u \frac{\partial V}{\partial x} + v \frac{\partial V}{\partial y} + w \frac{\partial V}{\partial z} + \frac{\partial V}{\partial t} = (V \cdot \nabla) V + \frac{\partial V}{\partial t}$$

متابیک ذره سیال

شتاب محلی \rightarrow شتاب مابرجای \rightarrow که مشتق محلی

$$a_x = u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial u}{\partial t} \quad a_y = u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial v}{\partial t} \quad a_z = u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial t}$$

۱۵. $Q = \int_A V \cdot dA = AV_{av}$ $F_{t/s} = m_{t/s} Q$ Q مقطع در واحد زمان

$$V_{av} = \frac{Q}{A} = \frac{\int_A V \cdot dA}{A}$$

۱۶. $\dot{m} = \int_A \rho V \cdot dA = \rho Q$ $1 \text{ km}_3 = 10^9 \text{ m}_3$ $1 \text{ kg}_3 = 10^3 \text{ m}_3$ \dot{m} مقطع در واحد زمان

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = -\frac{\partial \rho}{\partial t} \quad \nabla \cdot \rho V = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$$

معادله پیوستگی

۱۷. $\nabla \cdot V$ نرخ حجمی خالص جریان سیال از یک حجم کنترل. با اعداد بزرگم و در واحد حجم است

۱۸. $\rho = cte \rightarrow \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$ این معادله را هم می توان برای جریان پایا و هم جریان غیر پایا نوشت
معادله پیوستگی مستقل از لزجت یا غیر لزج بودن سیال است برای تمام مایعات و گازها

$$\frac{1}{r} \frac{\partial(\rho r v_r)}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial(\rho r v_\theta)}{\partial \theta} + \frac{\partial(\rho v_z)}{\partial z} = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$$

معادله پیوستگی در مختصات استوانه ای

$$\frac{1}{r} \frac{\partial(\rho r v_r)}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial(\rho r v_\theta)}{\partial \theta} + \frac{\partial(\rho v_z)}{\partial z} = 0$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial(\rho r v_r)}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial(\rho r v_\theta)}{\partial \theta} + \frac{\partial(\rho v_z)}{\partial z} = 0$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial(\rho r v_r)}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial(\rho r v_\theta)}{\partial \theta} + \frac{\partial(\rho v_z)}{\partial z} = 0$$

$$\frac{dx}{u} = \frac{dy}{v} = \frac{dz}{w}$$

خط جریان خطی است که در هر نقطه داخل جریان بر بردار سرعت هم‌راستا باشد
شکل خط جریان با زمان تغییر می‌کند و در جریان پایا خطوط جریان معنی ثابت است
- امکان تقاطع خطوط جریان به جز در نقاط منفردی با سرعت صفر یا بی‌ثبات وجود ندارد

خط سیر خطی است که توسط حرکت هر ذره از سیال حاصل می‌شود (مسیر حرکت هر ذره)

خط اثر خطی است که ذرات سیال گذرنده از یک نقطه ثابت در فضا را به هم وصل می‌کند

لوله جریان یک لوله فرضی است که دیواره‌های آن از خطوط جریان عبوری‌کننده و بردار سرعت بر سطح لوله هم‌راستا است و از دیواره‌های لوله جریان عبور نمی‌کند

* در جریان پایا خطوط جریان و خطوط سیر برهم منطبق هستند و شکل لوله جریان در فضا ثابت است

تابع جریان رابطه خطوط جریان در یک سطح بی‌سختی را بیان می‌کند

عبارت بی‌سختی ۲ بعدی $\frac{\delta\psi}{\delta x} + \frac{\delta v}{\delta y} = 0$ $\rightarrow u = \frac{\delta\psi}{\delta y}$ $\rightarrow v = -\frac{\delta\psi}{\delta x}$ تابع جریان

۴ در طول یک خط جریان ثابت است

در جرمی در واحد عمق بین دو خط جریان عبارت است از اختلاف بین مقادیر ثابت ψ که شخص گفته در خطوط جریان هستند

اگر جریان تراکم‌پذیر باشد تابع جریان دو بعدی $\rho u = \frac{\delta\psi}{\delta y}$ $\rho v = -\frac{\delta\psi}{\delta x}$

اختلاف بین مقادیر ثابت ψ برای دو خط جریان نشان دهنده جرمی در واحد عمق بین دو خط جریان

تابع جریان در مختصات استوانه‌ای $v_r = \frac{1}{r} \frac{\delta\psi}{\delta\theta}$ $v_\theta = -\frac{\delta\psi}{\delta r}$

عبارت اندازه حرکت قانون دوم نیوتن $\rho \frac{Dv}{Dt} = \sum F$

نیروی جرمی نیروی که بر کل جرم موجود در حجم کنترلی اثر می‌کند \leftarrow جاذبه، مغناطیسی، الکتریکی
نیروی سطحی نیروی حاصل از برش لایه‌ها و سطح کنترلی گذرنده از بین آن و نیروی حاصل از فشار
بهدر استاتیکی و تنش‌های ناشی از لزجت

معادلات اندازه حرکت: معادلات ناویر-استوکس برای حالت جریان تراکم پذیر با سرعت ثابت

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = \rho g_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right)$$

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = \rho g_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right)$$

$$\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = \rho g_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right)$$

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = \rho g - \nabla P + \mu \nabla^2 v$$

بردی لزج، برشی، کششی، کششی، کششی

در جریان غیر لزج $\mu = 0$ و معادله اول (جریان ایستا و هموگن) $\rho \frac{Dv}{Dt} = \rho g - \nabla P$

$$\frac{dp}{\rho} + v dv + g dz = 0$$

شرایط انرژی

$$\frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} + gz = cte$$

معادله برنولی برای سیال تراکم ناپذیر با ایستاده بودن و سرعت و ارتفاع

$$\frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} + gz = cte \quad \text{و} \quad p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \gamma z = cte$$

شرایط انرژی، شرایط انرژی، شرایط انرژی

شرایط لازم برای استفاده از معادله برنولی: ۱- جریان غیر لزج، ۲- ایستاده، ۳- سیال تراکم ناپذیر، ۴- مقطع جریان

معادله برنولی تنها در حالتی قابل استفاده است که نبرد ای در دو بر سیال تنها برودی و نیز در دو سیال باشد

بر فرضیه ای از سیال که تبدیل گام به گام صورت گیرد معادله برنولی قابل استفاده نیست

معادله برنولی شان می دهد که اگر در نقطه هم ارتفاع سرعت افزایش یابد فشار کاهش می یابد

برگامه ۷۶۲.۱۸ با استفاده از معادله برنولی برای سیال با در نظر گرفتن تراکم معادله برنولی را می توانیم

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + gz_1 = \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + gz_2 + \int_1^2 \frac{\partial v}{\partial t} dz$$

شرایط انرژی

شرایط انرژی، شرایط انرژی، شرایط انرژی

شرایط انرژی، شرایط انرژی، شرایط انرژی

$$v = \sqrt{\frac{2(P_0 - P)}{\rho}}$$



شرایط انرژی، شرایط انرژی، شرایط انرژی

$$\frac{d}{dt} \int_{cv} \rho dV + \int_{cs} \rho V \cdot dA = 0$$

معادله پیوستگی برای یک حجم کنترل

$V \cdot dA$ {

- مقدار جرمی جریانی
- در دایره ای جریانی
- جرم جریانی همای بر سطح کنترل

$$\frac{d}{dt} \int_{cv} \rho dV + \sum (\rho_i A_i V_i)_{out} - \sum (\rho_i A_i V_i)_{in} = 0$$

$\sum (\rho_i A_i V_i)_{in} = \sum (\rho_i A_i V_i)_{out}$ $\sum (m_i)_{in} = \sum (m_i)_{out}$

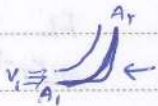
$$\sum F = \frac{d}{dt} \int_{cv} \rho V dV + \int_{cs} \rho V V \cdot dA$$

معادله اندازه حرکت برای حجم کنترل

جمع نیروهای حجمی و سطحی

$$\sum F = \sum (m_i V)_{out} - \sum (m_i V)_{in}$$

حجم کنترل شامل در دایره و فردی یک بعدی



$$F_x = m V_1 + P A_1$$

$$m = \rho A V$$

10

$$\alpha = \frac{1}{A} \int_A \left(\frac{V}{V} \right) dA$$

توزیع سرعت

ضریب تصحیح انرژی جنبشی همگام جریان داخل لوله یک بعدی نیست

$$\alpha = \frac{V^2}{V_g^2}$$

در معادله انرژی از استاندارد من شود

1/2

$$\beta = \frac{1}{A} \int_A \left(\frac{V}{V} \right)^2 dA$$

ضریب تصحیح اندازه حرکت

ضریب تصحیح اندازه حرکت

15

$$\alpha = 2$$

$$\beta = \frac{4}{3}$$

برای جریان آرام داخل لوله

$$\alpha = 1$$

$$\beta = 1$$

جرم جریان پریم داخل لوله

$$\beta > 1$$

پهنای

فرم مخصوص سیال

ارتفاع سیال

$$P = \rho Q h$$

توان نرخ تبدیل انرژی است و از حاصل ضرب ارتفاع حاصل انرژی بر روی سطح

20

ای جنبی

$$P = \rho Q V \frac{V^2}{2g} = \rho A V \frac{V^2}{2g} = \frac{1}{2} \rho A V^3$$

توان جهت سیال $h = \frac{V^2}{2g}$ در نهایت

25

فصل ۴ - آنالیز ابعادی

ابعاد چگالی ρ اصل $M L^{-3}$ جرم M طول L زمان T دمای حرارت θ
 نیرو $F = M L T^{-2}$

فشار	وزن	چگالی	ری جرمی	ری حجمی	شیب	سرعت	حجم	سطح
P, σ	γ	ρ	m	Q	a	v	V	A
FL^{-2}	FL^{-2}	FTL^{-4}	FTL^{-1}	$L^2 T^{-1}$	LT^{-2}	LT^{-1}	L^3	L^2
MLT^{-2}	$ML^{-2} T^{-2}$	ML^{-3}	MT^{-1}					
کاروانرژی	توان	کشش	رینولدز	کشش سطحی	لزج	لزج		
W, E	P	T	ω	σ	μ	ν		
FL	FLT^{-1}	FL	T^{-1}	FL^{-1}	FTL^{-2}	$L^2 T^{-1}$		
$ML^2 T^{-2}$	MLT^{-1}	MLT^{-2}		MT^{-2}	MLT^{-1}			

تعدادی با یک نام برگاه n متغیر داشته باشیم که m بعد داشته باشند تعداد اعداد بدون بعد $n-m$ است
 * اعداد بدون بعد را می توان به هم ضرب یا تقسیم کرد و عدد بدون بعد بدست آمده مستقل از بقیه اعداد بدون بعد می باشد
 * هر عدد بدون بعد را می توان تا بی از بقیه اعداد بدون بعد نوشت

تعیین اعداد بی بعد کلیه متغیرها را بر اساس $MLT\theta$ یا $FLT\theta$ می نویسیم پس تعدادی عدد بدون بعد خواهیم داشت
 شده را با توان ای بعدی متغیر نوشته و توان را بدست می آوریم

نیروی هم در مکانیک سیالات

20

نیروی وزن $F_g = mg \sim \rho L^3 g$

نیروی فشاری $F_p = \Delta P \cdot A \sim \Delta P L^2$

نیروی اینرسی $F_I = m v \frac{dv}{ds} \sim \rho L^2 v \frac{v}{L} \sim \rho L^2 v^2$

نیروی لزج $F_\mu = \tau A = \mu \frac{du}{dy} A \sim \mu \frac{v}{L} L^2 \sim \mu L v$

نیروی تراکم پذیری $F_\theta = E_v A \sim \rho \frac{dy}{dy} P L^2 \sim \rho C^2 L^2$ نیروی کشش سطحی $F_\sigma = \sigma h$

نیروی سانتریفوژ $F_w = m r \omega^2 \sim \rho L^2 \omega^2 \sim \rho L^4 \omega^2$

$$Re = \frac{\rho V L}{\mu} = \frac{V L}{\nu} = \frac{\text{لزجی نیروی اینرسی}}{\text{لزجی نیروی اینرسی}}$$

۱- اعداد ریینولدز
۱- عدد ریینولدز

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gL}} = \frac{\text{نیروی اینرسی}}{\text{نیروی وزن}}$$

۲- عدد فرود

$$Eu = \frac{\Delta P}{\rho v^2} = \frac{\text{نیروی فشاری}}{\text{نیروی اینرسی}}$$

۳- عدد اولفر

$$M = \frac{v}{c} = \frac{\text{نیروی اینرسی}}{\text{نیروی تراکم پذیری}}$$

۴- عدد ماخ

$$We = \frac{\rho v^2 L}{\sigma} = \frac{\text{نیروی اینرسی}}{\text{نیروی کشش سطحی}}$$

۵- عدد وبر

10

$$St = \frac{L w}{v} = \frac{\text{نیروی سائندگی}}{\text{نیروی اینرسی}}$$

۶- عدد استروال

- * برای جریان داخل لوله عدد ریینولدز مهم است ^{1/2}
- * برای جریان تراکم پذیر عدد ماخ مهم است
- * پمپاژ جریان دارای سطح آزاد باشد عدد وبر مهم است ¹⁵
- * پمپاژ افت فشار به گونه ای باشد که سبب تبخیر و کاویتاسیون شود عدد اولفر مهم است
- * در جریان های روبرو نظیر امواج سطحی دوکاله ای روبرو ورود خانه عدد فرود مهم است
- * از عدد وبر جهت کشش سطحی امواج و سرریز شدن سیالات استفاده می شود
- * در حرکت کشش عدد فرود مهم است
- * برای جریان های که ناپایا بوده و به صورت تناوبی نگراری شوند عدد استروال مهم است ²⁰
- * اهمیت نیروی جزی و نیروی کشش سطحی برای جریان داخل لوله ناچیز است
- * در الیه برزی نیروی لزجی و اینرسی دارای اهمیت هستند
- * برای جریان های لزج دارای سرعت باریک بدون سطح آزاد عدد ریینولدز مهم است

$$F = \frac{1}{2} \rho C_D A V^2$$

نیروی مقاوم دارد بر استو بیل عبارت از

25

تشابه هندسی

در تشابه هندسی طول مهم است. نسبت ایجاد متناظر مدل و نمونه اصلی عدد ثابت است

تشابه سینمایی

$\frac{V_m}{V_p}$

فریب مقیاس سرعت

در تشابه سینمایی سرعت مهم است که باید فریب مقیاس ثابت به هم مرتبط می شوند

5

* اگر دو جریان از لحاظ سینمایی یکسان باشند از نظر هندسی نیز مشابهند

* لازم است تشابه سینمایی یکسان بودن نوع جریان مدل و نمونه اصلی است

تشابه ریاضی

$\frac{F_m}{F_p}$

فریب مقیاس نیرو

در تشابه ریاضی نیرو مهم است و تشابه موقعی برقرار است که انواع نیروهای سیال در نقاط متناظر مدل

10

و نمونه اصلی با هم موازی بوده و مقدارشان با یک فریب مقیاس ثابت به هم مرتبط می شود

* برای تشابه ریاضی باید کلیه اعداد بدون بعد برای مدل و نمونه اصلی برابر باشند

* برای برقراری تشابه ریاضی بین دو جریان باید بر دو تشابه هندسی و سینمایی برقرار شود

1/2

* تشابه ریاضی منتهی به برابری کلیه پارامترهای بدون بعد است و نمونه برابر هستند

15

20

25

فصل ۵ - جریان های داخلی تک فاز و لایه

جریان آرام: حرکت پرده از سیال در استادمیر شغنی است و میرا منظم و سهوا است $T_{lam} = \mu \frac{du}{dy}$
 جریان دریم: میر حرکت ذرات سیال با منظم است و گردا گرد شکل شده و باعث انتقال موثر از یک ناحیه به ناحیه دیگری است $T = T_{lam} + T_{turb} = (\mu + \eta) \frac{du}{dy}$ $\eta = \rho \nu$ $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ ν ضریب لزجت گراهای سینما تیک ν
 * تنش های برشی و تلفات در جریان دریم بیشتر از جریان آرام است

5

جریان در داخل لوله؟

$Re = \rho v d = \frac{v d}{\nu}$ **ضریب اینرسی**

برای اعداد این عدد بالا، ضریب اینرسی نزدیک به صاف بر جریان است و برای اعداد پایینتر، یعنی نزدیک لزجت، ما کم بر جریان است
 جریان دریم $Re > 4000$ جریان لایه $2300 < Re < 4000$ جریان آرام $Re < 2300$

10

سرعت سیال در دیواره های لوله در محل میر برابر صفر است

ناحیه دردی از ورودی لوله تا نقطه ای که لایه های برشی در مرکز لوله دریم می رسند

ناحیه بین ناحیه ورودی و ناحیه کاملاً توسعه یافته نامیم

11

طول ناحیه دردی $L = 4.4 Re \frac{d}{v}$ یا $1.0 < \frac{L}{d} < 4.0$ یا $1.0 < \frac{L}{d} < 4.0$ $\frac{L}{d} = 0.054 Re$ **جریان آرام**

15

طول ناحیه دردی در جریان دریم بسیار کم است و تا پیش از جریان آرام است

ناحیه کاملاً توسعه یافته: از توزیع سرعت یک بعضی بوده $\frac{d^2 u}{dr^2} = -\frac{1}{4\mu} \frac{dP}{dz}$ $\frac{d^2 u}{dr^2} = -\frac{1}{4\mu} \frac{dP}{dz}$ $\frac{d^2 u}{dr^2} = -\frac{1}{4\mu} \frac{dP}{dz}$ $\frac{d^2 u}{dr^2} = -\frac{1}{4\mu} \frac{dP}{dz}$ $\frac{d^2 u}{dr^2} = -\frac{1}{4\mu} \frac{dP}{dz}$

$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} (r T_{rn}) = \frac{\Delta P}{4\mu} = \frac{\Delta(P + \gamma z)}{4\mu}$ **جریان آرام داخل لوله؟**

$u = -\frac{R^2}{4\mu} \left(1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2 \right) \frac{dP}{dz}$ $u_{max} = -\frac{R^2}{4\mu} \frac{dP}{dz} = 2\bar{u}$ $u = 1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2$

$\Delta P = \frac{128 \mu L Q}{\pi d^4}$ $\Delta P = \frac{32 \mu L u}{d^3}$ **رابطه بین افت فشار و سرعت (معادله آگن-پوازس)**

20

$u = \text{ثابت}$ $\Delta P \propto \frac{L}{d^3} \rightarrow \frac{\Delta P_r}{\Delta P_i} = \left(\frac{d_i}{d_r}\right)^4$ $Q = \text{ثابت}$ $\Delta P \propto \frac{1}{d^5} \rightarrow \frac{\Delta P_r}{\Delta P_i} = \left(\frac{d_i}{d_r}\right)^5$

$T_{rx} = -\mu \frac{du}{dr} = -\frac{r}{2} \frac{dP}{dz}$ **تنش برشی** $T_{w} = \frac{4\mu u_{max}}{R}$ $T_{w} = \frac{R}{4} \frac{\Delta P}{L}$ $\frac{T_{w}}{\tau} = \frac{R}{4} \frac{\Delta P}{L}$

$\frac{dP}{dz} = \frac{P_e - P_i}{L} = -\frac{\Delta P}{L}$ **پراگنده جریان توسعه یافته ناشی از $\frac{dP}{dz}$**



تغیرات تنش برشی با شعاع خطی است حتی برای جریان دریم

پراگنده لوله باز دیده است، افق قرار داشته باشد که فشار در آن برای آن برابر باشد

$u = \frac{R^2 - r^2}{4\mu} \gamma \sin \theta$ $T_{w} = \frac{R}{4} \gamma \sin \theta$

25

تقریباً افت اصطکاک در لوله

$$h_f = f \frac{L}{d} \frac{V^2}{2g}$$

در جریان تراکم نا پذیر و تراکم یافته و حالت داری - و سیاحت

این برای هر دو درجه جریان آرام و درجه ۲- برای هر جری (دایروی و غیر دایروی) قابل استفاده است

f : ضریب اصطکاک داری f : ضریب اصطکاک فاینیت

$$h_f \propto Q^2 \rightarrow \frac{h_{f2}}{h_{f1}} = \left(\frac{Q_2}{Q_1}\right)^2 \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^5$$

$$h_f \propto Q \rightarrow \frac{Q_2}{Q_1} = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^{1/5}$$

رابطه بین h_f و سرعت $h_f \propto V^{1.75}$ $h_f \propto V$ جریان آرام

در جریان کاملاً زیر h_f دقیقاً مشابه است با $h_f \propto V^2$

$$f = \frac{d \Delta P}{\rho V^2 L} = f(Re, \frac{\epsilon}{d})$$

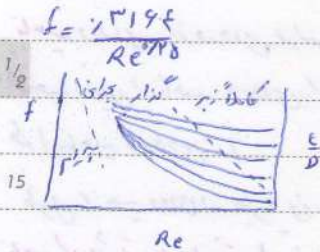
ضریب اصطکاک

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2.303 \ln \left(\frac{\epsilon d}{3.7 \nu} + \frac{2.5}{Re \sqrt{f}} \right)$$

۱۰ $f = \frac{0.079}{Re}$ جریان آرام
 $f = f(\frac{\epsilon}{d})$ جریان کاملاً زبر و درین دایره

در جریان آرام ضریب اصطکاک f عدد ثابتی است

۱۰ برای لوله های صاف (معمولاً پلیاستن) برای $Re < 10^5$



تاریخ سردی

۱۰ از دیاگرام سردی برای جریان توسعه یافته و پایا در آرام ایندی

۱۰ در ناحیه گذار ضریب اصطکاک با سرعت افزایش می یابد

$$\tau_w = \frac{1}{8} f \rho V^2$$

$$\tau_w = R \frac{\Delta P}{L} = R \gamma h$$

جریان درجه ۲

برای جریان درجه ۲ کاملاً توسعه یافته داخلی تنش برشی کلی

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} = \rho \nu \frac{du}{dy}$$

۲۰ $\tau_w = \mu \left(\frac{du}{dy}\right)_{y=0}$ تنش برشی در دیواره

۱۰ در لایه لایه لایه (اجداره لوله) $\frac{du}{dy}$ رابطه داری خاصه تنش برشی ثابت و تنش برشی برابر است و تنش درونی زیاد

۱۰ در جریان درجه ۲ ضریب اصطکاک برای لوله های صاف و زبر در حالتیکه اثر تنایج دایروی از اهمیت زیر لایه لایه کمتر باشد

۱۰ توزیع سرعت در لایه لایه لایه خطی است $\frac{u}{u^*} = \frac{y}{\nu}$ در حالت برشی با سرعت اصطکاک $u^* = \left(\frac{\tau_w}{\rho}\right)^{1/2}$

۱۰ در لایه لایه لایه عدد رینولدز: همانست زیر لایه لایه لایه لایه لایه

$$\frac{u}{u^*} = 2.5 \ln \frac{y u^*}{\nu} + 5.5$$

۲۰ $\frac{u}{u^*} = 2.5 \ln \frac{y u^*}{\nu} + 5.5$ توزیع سرعت در لایه لایه لایه لایه لایه

۳) لایه جاری از v_{max} شروع شده و تا سر مرز لایه سیالیه u^+ از فاصله y متصل به هم داریم $u_m - u = 2.5 L n R / y$

در این ناحیه تنش برشی دارای اهمیت است
 * یکی از مشخصه های جریان دریم این است که در آن ΔP تغییرات کمی بالزجت دارد
 هرگاه ϵ ارتفاع زبری است $Re^* \epsilon < 5$ داریم

۱) $Re^* < 5$ برآورد از نظر مهندسی ممانف بوده و زبری بر فریب اصطکاک اثر ندارد
 ۲) $5 < Re^* < 70$ حالت گذرا داریم، فریب اصطکاک تابع زبری و عدد رینولدز است

۳) $Re^* > 70$ جریان کاملاً زبر است زیرا لایه لایه کاملاً از بین رفته و فریب اصطکاک مستقل از عدد رینولدز است

توزیع سرعت در جریان دریم داخل لوله $u = (1 - \frac{r^2}{R^2})^{1/2}$
 $u_{max} = \frac{v}{R}$ $u = (\frac{v}{R})^{1/2}$
 $y = R - r$ h به رینولدز بستگی دارد و با افزایش عدد رینولدز در افزایش می یابد

۱۰ * معادله فوق در نزدیکی برآورد لوله $\frac{y}{R} < 0.4$ معتبر است چون تقریباً سرعت سینوسی می شود $\frac{du}{dy} = \frac{v}{R}$
 توزیع سرعت در جریان دریم داخل لوله $u = \frac{v}{R} \frac{r^2}{(n+1)(2n+1)}$
 معمولاً $n=7$ طبق قانون یک هفتم پارتل



توزیع سرعت $1/2$

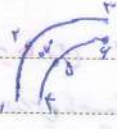
۱۵ افت های موضعی
 * اگر سرعت متوالی جریان بالاتر و پایین تر متفاوت باشد معمولاً سرعت جریان بیشتر است $h_m = k \frac{V^2}{19}$

۱۶ طول محال $h_e = \frac{Kd}{f}$ $K = \sum K_i$
 $h_{total} = h_f + \sum h_m = (\frac{fL}{d} + \sum K_i) \frac{V^2}{19}$

۲۰ تلفات ناشی از انقباض ناگهانی $h_e = K_e \frac{V_1^2}{19} = \frac{(V_1 - V_2)^2}{19}$ $K_e = (1 - \frac{A_1}{A_2})^2 = (1 - \frac{d_1^2}{d_2^2})^2$

* تلفات ناشی از انقباض ناگهانی $h_e = K_e \frac{V_1^2}{19} = \frac{(V_1 - V_2)^2}{19}$ $K_e = (1 - \frac{A_1}{A_2})^2 = (1 - \frac{d_1^2}{d_2^2})^2$
 * تلفات ناشی از انقباض ناگهانی $h_e = K_e \frac{V_1^2}{19} = \frac{(V_1 - V_2)^2}{19}$ $K_e = (1 - \frac{A_1}{A_2})^2 = (1 - \frac{d_1^2}{d_2^2})^2$

تلفات ناشی از انقباض ناگهانی $h_e = K_e \frac{V_1^2}{19} = \frac{(V_1 - V_2)^2}{19}$ $K_e = (1 - \frac{A_1}{A_2})^2 = (1 - \frac{d_1^2}{d_2^2})^2$
 * تلفات ناشی از انقباض ناگهانی $h_e = K_e \frac{V_1^2}{19} = \frac{(V_1 - V_2)^2}{19}$ $K_e = (1 - \frac{A_1}{A_2})^2 = (1 - \frac{d_1^2}{d_2^2})^2$
 * تلفات ناشی از انقباض ناگهانی $h_e = K_e \frac{V_1^2}{19} = \frac{(V_1 - V_2)^2}{19}$ $K_e = (1 - \frac{A_1}{A_2})^2 = (1 - \frac{d_1^2}{d_2^2})^2$



$$\frac{dP}{dr} = \rho \frac{v^2}{r} \rightarrow P_2 - P_1 = \rho v^2 \ln \frac{r_2}{r_1}$$

زاویه؟
جهت گریز از مرکز فشار بیشتر از ۵ است
تغییرات فشار در جهت شعاعی
نقطه ۷ سرعت آن بزرگ تر

فشار در ۱۴ و همچنین در ۳ و ۶ یکسان است

۶ فشار از ۵ به ۹ افزایش یافته و ارتفاع لایه مری هم زیاد شده و امکان می‌دهد در این ناحیه وجود دارد نشانی

$$\frac{P_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + \sum h_f$$

معادله انرژی

با α مربوط به تلفات انرژی است α در ۱ و ۲ تقریباً یکسان است و برای جریان بدون اصطکاک برابر $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$

خط تراز انرژی EGL نشان دهنده ارتفاع هرکلی است $\frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + z$

خط تراز هیدروکی HGL نشان دهنده مجموع هدرتوان در فشار $\frac{P}{\gamma} + z$ است (خط ارتفاع پیرودت)

• در جریان لزج EGL کاهش می‌یابد
• اگر در سیر جریان شیر یا انقباض ناگهانی وجود داشته باشد EGL افت ناگهانی دارد و در سیر هدرتوان EGL افت ناگهانی دارد
• اگر در ... می‌باشد EGL صعودی کند

• HGL در کانال روان همان ارتفاع آزاد است

در محیط هیدروکی سیال متاسب با ارتفاع پیرودت سیال در طول لوله است

جریان آرام کامل است و همه یونی فرمات مولی بزرگ

معادلات رانگ-هسگرت توزیع سرعت در یک مقطع خطی است $u = \frac{1}{2\mu} \left(\frac{\partial P}{\partial x}\right) (y^2 - a^2)$

توزیع تنش برشی $\tau_{yx} = \alpha \left(\frac{\partial P}{\partial x}\right) \left(\frac{y}{a} - \frac{1}{2}\right)$

سرعت متوسط $u_{max} = \frac{3}{2} \bar{u}$

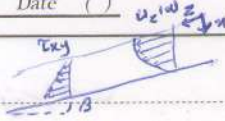
تعداد هیدروکی $D_h = \frac{4A}{P}$ $f = \frac{64}{Re_d}$ $f = \frac{64}{Re_d}$ $Re_d = \frac{\rho U D}{\mu}$

معادله انرژی با سرعت ثابت حرکت کند $u = \frac{1}{2\mu} \left(\frac{\partial P}{\partial x}\right) (y^2 - a^2) + \frac{U y}{a}$

توزیع تنش برشی $\tau_{yx} = \alpha \left(\frac{\partial P}{\partial x}\right) \left(\frac{y}{a} - \frac{1}{2}\right) + \mu \frac{U}{a}$

نقطه حرکت $q = \frac{1}{2} \frac{\mu U}{\alpha \frac{\partial P}{\partial x}}$ $\bar{u} = \frac{a^2}{12\mu} \left(\frac{\partial P}{\partial x}\right) + \frac{U}{2}$





جرایب فیلم بایع افزوی بایع شیب

$$\frac{d\tau_{rz}}{dr} = \rho g \cos \beta \quad \tau_{rz} = -\mu \frac{du_z}{dr} \rightarrow u_z = \frac{\rho g r^2 \cos \beta}{2\mu} \left[1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2 \right]$$

$$u_{z \max} = \frac{\rho g R^2 \cos \beta}{4\mu} \quad \bar{u} = \frac{2}{3} u_{z \max} \quad u_z = \frac{2}{3} \bar{u} \left[1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2 \right]$$

• فشار در کل طول حرکت بیابان ثابت و برابر استقامت
• تغییرات تنش برشی برای سیال در جهت عمود بر حرکت خطی و گاهی است

5

مقاومت سطح مقطع $R_h = \frac{A}{P} = \frac{\text{مساحت سطح مقطع}}{\text{محیط سطح مقطع}}$

قطر معادل $D_h = \frac{4A}{P} = 4R_h$

$h_f = f \frac{L}{D_h} \frac{v^2}{2g}$

افت اصطلاح

لوله دایره‌ای $D_h = D$

کانال مستطیلی $D_h = \frac{2ab}{a+b}$

شکل بی $D_h = D$

کانال نصف مستطیلی $D_h = \frac{a}{\sqrt{3}}$

دو لوله هم محور $D_h = D_1 - D_2$

10

جرایب از بی اول در هم محور $\frac{1}{r} \frac{d}{dr} (r \frac{du}{dr}) = \frac{dP}{dx} \rightarrow u(r) = -\frac{1}{4\mu} \left(\frac{dP}{dx} \right) \left[a^2 - r^2 + \frac{a^2 - b^2}{\ln(a/b)} \ln \frac{a}{r} \right]$

توزیع سرعت سهمی شکل \leftarrow $\frac{1}{2}$

نفاذ بزرگم مقدار سرعت $u_{\max} = \sqrt{(a^2 - b^2) / \ln(a/b)}$

• این نفاذ به نفاذ داخلی نزدیک است و با نزدیک شدن دو لوله به هم یا به عبارتی دیگر کم شدن $a-b$ به وسط نفاذ بین دو استوانه نزدیک می‌گردد

$D_h = r(a-b)$

15

سیستم چند لوله‌ای

$Q_1 = Q_2 = Q_3 = \dots = Q_n \quad h_f = h_{f1} + h_{f2} + h_{f3} + \dots + h_{fn}$

اتصال سری

لوله‌ای معادل هرگاه به ازای افت اصطلاحی یکسان در جریانی یکسانی در آن برقرار باشد

نسبت Q و h_f $\frac{L_1}{L_2} = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^5 \left(\frac{v_1}{v_2}\right)$ $L \propto \frac{d^5}{f}$

$h_{f1} = h_{f2} = h_{f3} = h_{fn} = \frac{P_1 + z_1}{\gamma} - \left(\frac{P_2 + z_2}{\gamma}\right) \quad Q = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n$

اتصال موازی

$\frac{Q_1}{Q_2} = \sqrt{\frac{h_{f1}}{h_{f2}}} \times \frac{L_2}{L_1} \times \frac{d_1^5}{d_2^5}$

نسبت دبی ورودی لوله موازی

اتصال متوازن

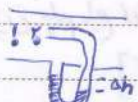
ارتفاع خط میانه در لوله در نقطه اتصال از سطح مایعات در مخازن بالاتر مایع آن مخزن واحد می‌شود و اگر پایین تر باشد مایع از آن خارج می‌شود

$z_2 + \frac{P_2}{\gamma}$

اختلاف ارتفاع خط میانه از سطح مایعات در مخازن $= f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \rightarrow v \rightarrow Q$

25

مقدار Q بیشتری در هر دو مخزن $Q_{in} > Q_{out}$ مقدار Q کمتری در هر دو مخزن $Q_{in} < Q_{out}$



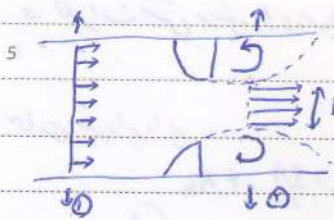
تفاوت اختلاف شد

اندازه گیری جریان سیالات

اندازه گیری سرعت بر روی لوله پیوست

$$V_1 = c \sqrt{\frac{2(P_r - P_1)}{\rho}} = c \sqrt{2g(z_r - z_1)} \quad c = 1$$

برای اندازه گیری سرعت جریان در یک لوله با قطر بزرگ به کار برده می شود



$$V_2 = \frac{C_v}{\sqrt{1 - \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^4}} \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho}}$$

اندازه گیری در جوی

$$Q = A_1 V_1 = \frac{C_d C_v A_1}{\sqrt{1 - \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^4}} \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho}}$$

Cv فریب جوی

Cd فریب انقباض

$$C_d = C_v C_c$$

$$Q = C_d \frac{A_1}{\sqrt{1 - \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^4}} \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho}}$$



لوله و تنزی برای اندازه گیری جریان در خطوط لوله بزرگ است. به شدت مثل آب برای تنزی

برای اندازه گیری جریان مایعات و گازها اغلب ایست

عیب: ۱- فضای چهار ۲- گران ۳- خطای زیاد



صفحه اول یعنی دارای افت انرژی زیاد و هزینه کم

نازل



سرریز برای اندازه گیری جریان در کانال باز

سرریز لانه پرن $Q \propto h^F$ سرریز شفتی $Q \propto h^3$ سرریز مستطیلی $Q \propto h^{3/2}$



با رسیدن سطح مانع دمای آن در اثر سرعت سیال تغییر می کند به مقاومت الکتریکی نیم تغییر می کند

و در حالت افت فشار تغییرات است برای اندازه گیری جریان مایعات و گازها

تغییر مانع سرعت مانع به تغییر مانعی در فشار به افزایش مانع پس تغییر فشار به فرود مانع

لوله به طول مانع مخزن بزرگ وصل کرده و سرعت مانع a و زمان بسته شدن شیشه t

بسته شدن شیشه سریع $t < \frac{16}{a}$ بسته شدن شیشه آهسته $t > \frac{16}{a}$

فصل ۶ - جریان لایه مرزی

در لایه مرزی نیروهای لزجی و اینرسی براد هم هستند
 ضخامت لایه مرزی به فاصله ای از دیواره اطلاق می شود که در آن سرعت به موازات صفحه ۹۹ در سرعت جریان آزاد است

$$Re_x = \frac{\rho U_\infty x}{\mu} = \frac{U_\infty x}{\nu}$$

عدد رینولدز x طول صفحه درونی استوانه یا کره برابر D

تبدیل جریان آرام به درپیم در جریان روی صفحه در $Re = 5 \times 10^5$ رخ می دهد

عددی که باعث شود گذرگرن جریان آرام به درپیم می شود (۱) افزایش زبری سطح (۲) افزایش میزان درپیم جریان آزاد

(۳) گرایش سیال توسط سطح (۴) گرایش فشار معکوس

ضخامت جابه جایی فاصله ای است که باید مرز چایه رنگ جریان بدون اصطکاک را تقریباً تا همان گامش روی جری

$$\delta^* = \int_0^\delta (1 - \frac{u}{U_\infty}) dy = \int_0^\delta (1 - \frac{u}{U_\infty}) dy$$

را در حالتیکه مرز چایه در لایه مرزی در درپیم
 * موثقی که لایه مرزی از حالت آرام به درپیم تبدیل می شود ضخامت لایه مرزی شدیداً افزایش می یابد در نتیجه δ^* و δ در جریان درپیم بزرگتر است

ضخامت پوسته ضخامت پوسته از لایه سیال است که به ازای آن شتاب پوسته برابر است با شتاب پوسته در لایه مرزی

$$\theta = \int_0^\delta \frac{u}{U_\infty} (1 - \frac{u}{U_\infty}) dy = \int_0^\delta \frac{u}{U_\infty} (1 - \frac{u}{U_\infty}) dy$$

۱/۲ معادلات لایه مرزی

فرضیات (۱) لایه مرزی تراکم ناپذیر است (۲) $(\rho = \text{const})$ جریان بیایات (۳) خواص ثابت هستند (۴) مؤلفه سرعت در راستای

سطح خیلی بیشتر از مؤلفه سرعت در جهت عمود بر سطح است $u \gg v$ (۵) تنش ای عمود بر اجزایات

$$\frac{\partial p}{\partial y} = 0 \quad \text{در جهت } y \quad u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{dp}{dx} + \nu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad \text{معادله پیوستگی}$$

$$u \frac{\partial \theta}{\partial x} + v \frac{\partial \theta}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{d}{dx} [\rho c_p(x)] + \frac{\nu}{\beta} (\mu \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} - \rho \alpha \nabla^2 T)$$

تقریباً صاف یا زیر برین جریان در لایه مرزی درپیم

تأخیر صاف پس از اینکه زبری اثری بر ضریب اصطکاک پوسته ندارد

تا حدی که تا ضریب اصطکاک پوسته ای تابع عدد رینولدز و زبری نمی است

تا حدی که ضریب اصطکاک مستقل از عدد رینولدز است و تنها تابع زبری نمی است

* در جریان درپیم با افزایش تنش برشی روی سطح جسم ضخامت زبری لایه لزج کاهش می یابد در روی یک صفحه صاف در اجزای زبری لایه لزج، لزجت مؤثری از حالت است

$$\frac{dP}{dx} = 0$$

معادله حرکت در جهت x: $\rho u \frac{\delta u}{\delta x} + \rho v \frac{\delta u}{\delta y} = \rho \frac{\delta u}{\delta y}$

شرایط مرزی: $y=0: u=0, \frac{\delta u}{\delta y} = 0$ $y=\delta: u=U, \frac{\delta u}{\delta y} = 0$

جرم جریان آرام: $\delta = \frac{\Delta x}{\sqrt{Re_x}} = \delta \sqrt{\frac{V_{\infty}}{U_{\infty}}}$
 $C_f = \frac{0.474}{\sqrt{Re_x}}$

جرم جریان پریم: $\delta = \frac{1.732x}{\sqrt{Re_x}}$
 $C_f = \frac{0.577}{\sqrt{Re_x}}$

$\frac{\theta}{\delta} = 0.1732, \frac{\delta^*}{\delta} = 0.1732, C_f \tau_w \propto x^{-1/2}$

جرم جریان روی منحنی

جرم جریان آرام

شرایط مرزی

جرم جریان پریم

روش دی کارمین

معادله انرژی از آنجا که در حالت انتقال حرارت است $\frac{d}{dx} \int_0^{\delta} u(u-u) dy = \frac{\tau_w}{\rho}$

برگانه توزیع سرعت برای جرم جریان آرام روی منحنی $\frac{u}{U} = 2\left(\frac{y}{\delta}\right) - \left(\frac{y}{\delta}\right)^2$ عبارت در دسترس خود داریم

$\tau_w = \frac{2\mu U}{\delta}, \delta = \frac{0.474x}{\sqrt{Re_x}}, C_f = \frac{0.474}{\sqrt{Re_x}}, \frac{\delta^*}{\delta} = \frac{1}{8}, \frac{\theta}{\delta} = \frac{1}{18}$

برگانه توزیع سرعت برای جرم جریان پریم روی منحنی $\frac{u}{U} = \frac{3}{4}\left(\frac{y}{\delta}\right) - \frac{1}{4}\left(\frac{y}{\delta}\right)^2$ عبارت در دسترس خود داریم

$\tau_w = \frac{3\mu U}{\delta}, \delta = \frac{0.577x}{\sqrt{Re_x}}, C_f = \frac{0.577}{\sqrt{Re_x}}, \frac{\delta^*}{\delta} = \frac{1}{8}, \frac{\theta}{\delta} = \frac{3}{11}, m = \frac{\delta}{x} \rho U \delta$

برگانه از قانون بکینچن برای جرم جریان پریم روی منحنی استفاده می شود

$\tau_w = 0.059 \frac{\rho U^2}{\sqrt{Re_x}}, \delta = \frac{0.37x}{\sqrt{Re_x}}, C_f = \frac{0.059}{\sqrt{Re_x}}, \frac{\delta^*}{\delta} = \frac{1}{8}$

اگر از توزیع سرعت گاریسی در گوشه برای C_D استفاده کنیم

$m = \int_0^{\delta} \rho u dy$ و $C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho U^2 A}$

نیروی سیال دریاگ (در آلفیت)

مؤلفه ای از نیروی دریاگ در جهت جریان وادی شود نیروی سیال دریاگ F_D می باشد، مؤلفه عمود بر جریان را نیروی سیال دریاگ F_L می نامند

$F_D = C_D \frac{\rho U^2}{2} A, F_L = C_L \frac{\rho U^2}{2} A$ سرعت U مگر C_D و C_L

A برای اجسام متناهی مانند گوی A سطح مقطع عمود بر جریان است A برای اجسام بی نهایت دراز A سطح مقطع عمود بر جریان در آن نقطه است

نیروی دریاگ

نیروی دریاگ وارد شده بر جسم: مجموع دریاگ فشاری اشکلی $F_{D,p}$ دریاگ اصطکاکی یا پرستاری $F_{D,f}$

$F_{D,p} = \int_A p da, F_{D,f} = \int_A \tau_w da$

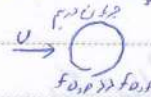
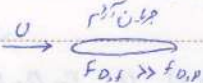
نیروی دریاگ پرستاری یا اصطکاکی: به علت وجود تنش روی سطح حاصل می شود انتقال مومنت عمود بر سطح است یعنی از این نیرو است

نیروی دریاگ فشاری اشکلی: برگانه سال به صورت سطح جرم جریان ρU^2 در آنجا که تغییر مساحت dA (مانند گره) دریاگ فشاری از

اختلاف فشار زیاد در ناحیه کنونی جرم dA و ناحیه کم فشار در قسمت جلوتره است حجم دریاگ که در آنجا در فشار p قرار می گیرد

برگاه جسم باریک مانند درآگ اصطکاکی بسیار بیشتر از درآگ فشاری. خواهر بر درآگ اصطکاکی در جریان آرام کمتر از جریان آرام

برگاه جسم پهن مانند درآگ فشاری بسیار بیشتر از درآگ اصطکاکی خواهر بر درآگ اصطکاکی در جریان آرام کمتر از جریان آرام



با کاهش ضخامت زیر لایه مرز، اصطکاک پوسته ای افزایش می یابد

برای جریان در اصطلاح هموریک استوانه ضرب درآگ در $\frac{1}{D}$ حداقل می شود

نبردس لینت

$$C_L = \frac{F_L}{\rho U^2 A}$$

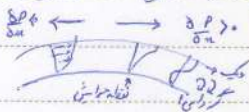


ضرب لینت تابعی از اعداد رینولدز و زاویه حمله است $C_L = f(Re, \alpha)$

استانال با افزایش زاویه حمله، ضرب لینت کاهش و ضرب افزایش ناگهانی می یابد

جریان

در مورد جریان فشاری، اگر فشار در جهت جریان افزایش یابد $\frac{\partial p}{\partial x} > 0$ گویم گرادیان فشار منکسر است و اگر فشار در جهت



جریان کاهش یابد $\frac{\partial p}{\partial x} < 0$ گویم گرادیان فشار مطلوب است

در این جریان، درآگ افزایش می یابد و لینت کاهش می یابد

در نقطه جویش تنش برشی روی درآه صفات τ_{max}

جریان در جریان در پیم در برآه جریان آرام اتفاق می افتد

بیشتر نرخ افزایش ضخامت لایه مرزی جویش است که گرادیان فشار مطلوب زیاد باشد

تغییرات ضرب درآگ با عدد رینولدز برای جریان روی کره، دامنه است

برای اعداد رینولدز کمتر از یک قانون استوکس برقرار است

$Re < 1000$ ضرب درآگ پوسته با عدد رینولدز کاهش می یابد و برای $Re > 1000$ تا $Re < 2 \times 10^5$ ضرب درآگ تقریباً ثابت است و برای

$Re > 2 \times 10^5$ بیشتر به علت گشادگی لایه مرزی، ضرب درآگ شدیداً افت می کند و در این به تأخیر افتادن و مقدار گردابه و نیروی درآگ افست است

جریان در $\theta = 180^\circ$ → جریان آرام → $Re < 2 \times 10^5$

جریان در $\theta = 140^\circ$ → جریان آرام → $Re > 2 \times 10^5$



گذارد از جریان آرام به دریم سبب تأخیر افتادن جویش می شود چون موافق مسائل در لایه مرزی در پیم نسبت به جریان آرام بیشتر است

با دریم شدن لایه مرزی ضرب درآگ روی استوانه کاهش می یابد

در جریان آرام بعد از نقطه جویش افزایش عدد رینولدز تأخیری بر روی محل نقطه جویش ندارد و نیروی درآگ ثابت می ماند

در بزرگن سطح کره باعث تبدیل جریان آرام به دریم در نقطه جلوتر از دریم و سبب تأخیر افتادن جویش در جریان می شود

با افزایش زبری سطح یک کره در جریان دریم در اعداد رینولدز بالا نیروی درآگ کاهش می یابد

تاثیر استوکی

در اعداد رینولدز کم Re نیروی درآگ وارد بر کره ای به قطر D برابر $F_D = 3\pi D \mu U$ و در سید درآگ برای جریان

استوکی $C_D = \frac{24}{Re}$ است

$$F_D = \text{درآگ اصطلاحی} + \text{درآگ فشاری} = 2\pi D \mu U + \pi D \mu U = 3\pi D \mu U$$

سرعت

جسی در یک سیال متناهی که دینومای کره به این حجم وارد می شود عبارتند از نیروی درآگ F_D و نیروی شناری F_B

نیروی متعل W و زبای که این هم نزدیک متعادلی را برقرار می کند و سرعت جسم را به

$$W = F_D + F_B$$

حجم با حجم V و وزن مخصوص γ در داخل سیالی با وزن مخصوص γ_f قرار می گیرد

$$U = \sqrt{\frac{4gD}{3C_D} \frac{\rho_s - \rho_f}{\rho_f}} \quad U = \frac{9D^2}{18\mu} (\rho_s - \rho_f)$$

اگر عدد رینولدز کوچک باشد $U \rightarrow Re \rightarrow C_D \rightarrow U$

10

1/2

15

20

25

فصل ۷ - توربین‌ها

کاره اول برای توربین‌ها: در اطراف بینی گشاد و نوکانه زاویه‌ای

دانشجوی عزیز
 $T = m(u_r v_{ur} - u_r v_{ur})$
 برای پمپ و فن دمنده و کمپرسور T_r (برای توربین) T_c (جابه‌وجاب) پره

توان
 $\dot{W}_m = \omega T = \omega m (u_r v_{ur} - u_r v_{ur}) = m (u_r v_{ur} - u_r v_{ur})$
 $H = \frac{\dot{W}_m}{\dot{m}g} = \frac{1}{g} (u_r v_{ur} - u_r v_{ur})$

$Q = \pi r_1 b_1 v_{u1} = \pi r_2 b_2 v_{u2}$ α زاویه α و β زاویه β
 شرایط طراحی برای پمپ $\alpha_1 = 90^\circ$ و $v_{u1} = 0$
 شرایط طراحی برای توربین $\alpha_2 = 90^\circ$ و $v_{u2} = 0$
 برای پره‌ای شعاعی $\beta_2 = 90^\circ$ به دستقل از این است

راندمان توربین‌ها
 برای جریان تراکم ناپذیر توان داده شده بسیار

$\dot{W}_h = \dot{m} \frac{\Delta P}{\rho} = \dot{m} g H = \rho g Q H = \gamma Q H = Q \Delta P = A V \Delta P$
 توان پمپ
 $\dot{W}_m = T \omega$ توان مکانیکی

$\eta_p = \frac{\dot{W}_h}{\dot{W}_m} = \frac{\gamma Q H}{\omega T}$ راندمان پمپ
 $\eta_t = \frac{\dot{W}_m}{\dot{W}_h} = \frac{\omega T}{\gamma Q H}$ راندمان توربین

آکیز اعدادی شناخته شده توربین‌ها

15
 سرعت دورانی D قطر پروانه Q دبی جریان P چگالی سیال μ لزجت H سر P توان

$C_H = \frac{gH}{N^2 D^5}$ فرسوده $C_Q = \frac{Q}{N D^3}$ فرسوده $C_p = \frac{P}{\rho N^3 D^5}$ فرسوده $R = \frac{P N D^2}{\mu}$ فرسوده
 $\eta_p = \frac{C_H C_Q}{C_p} = \frac{\gamma Q H}{P}$ $\eta_t = \frac{C_p}{C_H C_Q} = \frac{P}{\gamma Q H}$

19
 تغییرات راندمان پمپ و توربین ای بزرگتر
 کاتویا سیون: برگاه فشار به فشار بخار با مع برسد شروع به جوشیدن می‌کنند این حالت آب پاره با مع به نقاط دارای فشار بالا منتقل می‌شوند

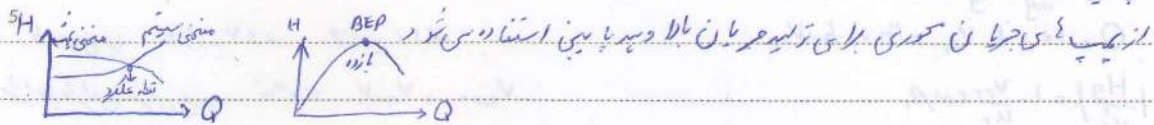
20
 کاتویا سیون در یک آب ریزان کمیشن می‌باشد، عملی جریان آب سینه با ارتفاعش در دو صدای اجاری شود
 پارتر کاتویا سیون یعنی میزان حالت یک سیستم به کاتویا سیون
 برگاه $z = 0$ کاتویا سیون رخ می‌سید و در جبهه گرم شدن با مع شده بخار آن افزایش می‌یابد برای پمپ کردن با معات داغ
 فشار بیشتر در دورانی لازم است تا از کاتویا سیون جلوگیری کرد

25
 هد حاصل کمیشن مثبت $NPSH$ باید مورد نیاز در کمیشن دورانی و پمپ جهت جلوگیری از کاتویا سیون
 کمیشن دورانی و فرسوده پمپ نوعی بسته که فشار در آنجا پایین تر بوده و کاتویا سیون از اینجاست شروع می‌شود
 $NPSH = \frac{P_a}{\rho g} + \frac{V_i^2}{2g} - \frac{P_v}{\rho g}$

کمیشن دورانی پمپ در ارتفاع z بالاتر از سطحی با سطح آزاد در فشار P_a
 $NPSH = \frac{P_a - P_v}{\rho g} - z = h_L$
 برای جلوگیری از کاتویا سیون $NPSH > h_L$

پمپ ۱

۱. پمپ‌های جاذب‌های مثبت PDP ۲ پمپ دینامیکی (جرمین، شعاعی، جریان، شعاعی، جریان، شعاعی)
 پمپ‌های PDP برای پمپ‌های کم فشار بالا مناسب هستند
 پمپ‌های گریز از مرکز افزایش سرعت سائل را نشان می‌دهند و پمپ‌های گریز از مرکز برای تولید هد بالا در پمپ‌ها
 با پمپ استفاده می‌شود



انتقال موادی در سری پمپ‌ها

برای داشتن هد بالا در پمپ مشخص از انتقال موادی پمپ ۱ دینامیکی باید با هد در پمپ مشخص از انتقال سری پمپ استفاده کنیم

انتقال موادی $Q_E = Q_1 + Q_2$ و $h_E = h_1 + h_2$ انتقال محلی $Q_E = Q_1 + Q_2$ و $h_E = h_1 + h_2$

توربین ۱

در توربین‌های گازی و بخاری سیال مایع تراکم پذیر است که از توربین‌های غیر پمپ ۱ ۲۲ توربین‌های واکنش
 در توربین‌های گازی و بخاری فشار و سرعت نسبی جریان عبوری از پره ثابت و برای حالتی که در هد و اختلاف ارتفاع H بزرگ باشد مناسب
 در در ابتدا تمام پمپ‌ها تبدیل به توربین می‌شوند

در توربین‌های واکنش فشار و سرعت نسبی جریان عبوری از پره تغییرات کمی دارد و اختلاف ارتفاع H کم

توان تولید شده توسط توربین‌های واکنش بیشتر از توربین‌های غیر پمپ ۱ است و در پمپ‌های واکنش با اختلاف ارتفاع بالا

توربین گابلان $H < 20$ متر ارتفاع کم و سرعت $280 < V < 800$ متر بر ثانیه

توربین فرانس $20 < H < 25$ متر ارتفاع متوسط $6 < V < 20$ متر بر ثانیه

توربین پتون $H > 20$ متر ارتفاع بالا $7 < V < 42$ متر بر ثانیه

بازده توربین‌ها $\eta = 45 - 90$ که $\eta = \frac{P}{\rho g Q H}$ است نسبت خطی بهره به است در ردی سائل

بازده گریز $\eta_{max} = 5 \times \frac{H}{D}$

سرعت در پره $N_s = \frac{N Q^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{3}{4}}}$

$N_s = \frac{N P^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{3}{4}}}$ توان فرعی از یک توربین

سرعت مخصوص پمپ‌های گریز از مرکز کم و پمپ‌های جریان شعاعی و پمپ‌های جریان شعاعی متوسط

سرعت مخصوص توربین‌های غیر پمپ‌ها کم و توربین‌های فرانس و پتون متوسط

اگر هد زیاد بودی کم لازم باشد از پمپ با سرعت بیشتر یا پمپ استفاده می‌شود و اگر هد کم بودی زیاد لازم باشد از پمپ

با سرعت در پمپ‌ها استفاده می‌شود

سرعت مخصوص کم در پمپ = سانتریفوژل شعاعی

فصل ۸ - جریان سیال بی‌انگیز

جریان چرخشی و غیر چرخشی

اگر در نقطه از یک جریان w چرخش غیر چرخشی است

$$w = \frac{1}{r} \begin{vmatrix} i & j & k \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ u & v & w \end{vmatrix}$$

برابر سرعت زاویه‌ای

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \rightarrow$$

چرخش دو برابر برادر سرعت زاویه‌ای بر فرض بی‌انگیز $\xi = 2w = \nabla \times v$

پتانسیل سرعت تابعی اسکالر ϕ

$v = \nabla \phi$

مشتقات استوانه‌ای $u_r = \frac{\partial \phi}{\partial r}$ $u_\theta = \frac{1}{r} \frac{\partial \phi}{\partial \theta}$ $u_z = \frac{\partial \phi}{\partial z}$

پتانسیل سرعت تنها برای جریان غیر چرخشی تقریبی شود ولی تابع جریان هم برای جریان چرخشی و هم جریان بی‌چرخشی تقریبی شود

برگه‌های لایه‌های مجاور با هم \leftarrow مایع غیر چرخشی

ϕ پتانسیل سرعت را می‌توان برای جریان‌های سه بعدی به کار برد ولی تابع جریان تنها برای جریان دو بعدی تقریبی شود

از حل معادله لاپلاس تحت شرایط مرزی مشخص می‌توان توزیع سرعت را مشخص کرد $\nabla^2 \phi = 0$ معادله لاپلاس

و از معادله انرژی حرکت می‌توان جهت تقریب فشار استفاده کرد

خطیم پتانسیل خطی است که در آن مقدار پتانسیل سرعت ϕ ثابت است

نسبت یک خط پتانسیل $\frac{dy}{dx} \Big|_{\phi=cste} = - \frac{\partial \phi / \partial x}{\partial \phi / \partial y} = - \frac{u}{v}$

با توجه به اینکه روی خط پتانسیل $d\phi = 0$ در حالت دو بعدی پتانسیل سرعت و خط مماس برابر همزاد و متعمد می‌باشند

گر استای سرعت سیال بر خط پتانسیل عمود است

شش‌پیک خط جریان در نقطه برابرات نامتغییر خطوط پتانسیل (عمودند) $\frac{dy}{dx} \Big|_{\phi=cste} = - \frac{1}{\frac{dy}{dx} \Big|_{\psi=cste}}$

$\frac{\partial \phi}{\partial y} = \frac{\partial \psi}{\partial x}$ $\frac{\partial \phi}{\partial x} = - \frac{\partial \psi}{\partial y}$

گردش $\Gamma = \oint_C v \cdot dr = \oint_C (\text{curl } v)_z dz$ گردش در خلاف جهت گردش عقربه‌ای ساعت

نسبت گردش خطی در خلاف جهت گردش عقربه‌ای ساعت (گردش کمیت اسکالر) در شاقول گردش در جهت میدان جریان پتانسیل است

پتانسیل متلا برای جریان دو بعدی و غیر چرخشی که ϕ تابع جریان و ψ پتانسیل $w(z) = \phi(x,y) + i\psi(x,y)$

پتانسیل متلا هم معادله لاپلاس را راضی کند $\frac{dw}{dz} = u - iv$ $q = \frac{dw}{dz} = u + iv$

جریان بی‌انگیز

$u = U, v = 0 \rightarrow \psi = Uy \quad \phi = Ux \rightarrow w = Uz \rightarrow \Gamma = 0$

$\psi = U(y \cos \theta - x \sin \theta) \quad \phi = U(x \cos \theta + y \sin \theta)$

۵ $u = \frac{\Lambda}{r\pi r} \quad u_\theta = 0 \quad \psi = \frac{\Lambda}{r\pi} \theta \quad \phi = \frac{\Lambda}{r\pi} \ln r \quad (\text{متر}^2) \quad \Lambda$ چرخش در جهت عقربه‌های ساعت

$w = \frac{\Lambda}{r\pi} \ln z \quad u_r \propto \frac{1}{r} \quad \Gamma = 0$ جریان غیر چرخشی

توجه: خطوط جریان در این مورد همگرا (در یکس) آزاد و در سمت راستی تمام فرات u_θ و Λ قدرت گرداب

$u_r = 0 \quad u_\theta = -\frac{\Lambda}{r\pi r} \quad \psi = \frac{\Lambda}{r\pi} \ln r \quad \phi = -\frac{\Lambda}{r\pi} \theta \quad w = \frac{\Lambda}{r\pi} \ln z$

حل پرسش است قابل مشاهده $\Gamma = \Lambda$ در جهت چرخشی است که قابل مشاهده است $\Gamma = 0$

۵ جریان گرداب در یک جریان بی‌مقاومت (یعنی $\nu = 0$) غیر چرخشی است در این گرداب هرگز نمی‌تواند

میرساند (دو قطبی) اگر یک چرخه در جهت عقربه‌های ساعت باشد و در جهت عقربه‌های ساعت باشد

۱۰ $u_r = -\frac{k}{r^2} \cos \theta \quad u_\theta = -\frac{k}{r^2} \sin \theta \quad \psi = -\frac{k \sin \theta}{r} \quad \phi = \frac{k \cos \theta}{r}$

خطوط جریان در این مورد همگرا (در یکس) آزاد و در سمت راستی تمام فرات u_θ و Λ قدرت گرداب

$w = \frac{k}{z} \quad \Gamma = 0$ چرخش در جهت عقربه‌های ساعت

۱۰ $\psi = \frac{\Lambda}{r\pi} (\theta_1 - \theta_2) \quad \phi = \frac{\Lambda}{r\pi} \ln \frac{r_1}{r_2}$ چرخش در جهت عقربه‌های ساعت

$\psi = U r \left(1 - \frac{a^2}{r^2}\right) \sin \theta \quad \phi = U r \left(1 + \frac{a^2}{r^2}\right) \cos \theta \quad a = \sqrt{\frac{\Lambda}{U}}$

$u_r = U \left(1 - \frac{a^2}{r^2}\right) \cos \theta \quad u_\theta = -U \left(1 + \frac{a^2}{r^2}\right) \sin \theta \quad u_r = 0, u_\theta = 2U \sin \theta$

۱/۲ $\theta = \pi$ در این مورد همگرا (در یکس) آزاد و در سمت راستی تمام فرات u_θ و Λ قدرت گرداب

۱۵ $P_3 = P_0 + \rho U^2 (1 - 4 \sin^2 \theta) \quad C_p = 1 - 4 \sin^2 \theta$ چرخش در جهت عقربه‌های ساعت

توجه: $\Gamma = 0$

۲۰ $\psi = U r \left(1 - \frac{a^2}{r^2}\right) \sin \theta + \frac{\Lambda}{r\pi} \ln r \quad \phi = U r \left(1 + \frac{a^2}{r^2}\right) \cos \theta - \frac{\Lambda}{r\pi} \theta$

$u_r = U \left(1 - \frac{a^2}{r^2}\right) \cos \theta \quad u_\theta = -U \left(1 + \frac{a^2}{r^2}\right) \sin \theta - \frac{\Lambda}{r\pi r} \quad u_\theta = 2U \sin \theta - \frac{\Lambda}{r\pi a}$

۲۰ $C_p = 1 - 4 \sin^2 \theta - \left(\frac{\Lambda}{r\pi a U}\right)^2$ چرخش در جهت عقربه‌های ساعت

۲۵ $L = \rho U T$ چرخش در جهت عقربه‌های ساعت

۲۵ $\frac{\partial p}{\partial t} = -(\nabla \cdot \rho \mathbf{v} \mathbf{v}) - \nabla p - (\nabla \cdot \mathbf{z}) + \rho g$

$\rho \frac{D \mathbf{v}}{D t} = -\nabla p + \mu \nabla^2 \mathbf{v} + \rho g$

$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right] + \rho g_x$

۲۵ $\frac{\partial p}{\partial x} = \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right)$ چرخش در جهت عقربه‌های ساعت

فصل ۹ - جریان های تراکم پذیر

سرعت صوت شدت انتشار یک موج فشاری با توان بی نهایت کوچک و در هر سیال تابعی از خواص ترمودینامیکی سیال است

کانت گرایی ویژه سیال است $c^2 = \left(\frac{\delta P}{\delta \rho}\right)_s = k \left(\frac{\delta P}{\delta \rho}\right)_T$

برای گاز ایده آل $c = \sqrt{kRT}$

با گرم کردن جریانی هوای خنک بود که سرعت سیال در کلگراف برابر با سرعت صوت در کلگراف باشد

بر اساس فریب کشانی همی $c^2 = \frac{E_v}{\rho}$ عدداً $M = \frac{V}{c}$

عدداً نشان دهنده نسبت نیروی اینرسی به نیروی تراکم پذیری

در جریان ایده آل در یک لوله $\frac{T_r}{T_1} = \left(\frac{P_r}{P_1} \frac{A_r}{A_1} \frac{M_1}{M_r}\right)^2$

فراآیند اینترتریک فراآیند آرایاتیک برکت پذیر است که در آن اکثر وی ثابت است $\gamma_1 = \gamma_2$

در یک فراآیند اینترتریک که سیال آن گاز ایده آل باشد روابط زیر برقرار است $\frac{T_r}{T_1} = \left(\frac{P_r}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}$ $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}$ $\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{P_r}{P_1}\right)^k$

خواص سکون

معادله انرژی برای یک جریان پایا و آرایاتیک ثابت $h + \frac{v^2}{2} = h_0$

$h + \frac{v^2}{2} = h_0$ آنتالپی در حالت سکون

h_0 آنتالپی سکون انرژی کل به ازای واحد حجم سیال، نشان می دهد که برابر مجموع آنتالپی استاتیک h و انرژی جنبشی به

واحد حرارت $T_0 = T + \frac{v^2}{2c_p}$ سیال، گاز ایده آل ←

جریان اینترتریک گاز ایده آل

روابط بین خواص جریان (خواص سیال در کلگراف که $M=0$ است) و خواص سکون $\frac{T_0}{T} = 1 + \left(\frac{k-1}{2}\right) M^2$ $\frac{P_0}{P} = \left[1 + \left(\frac{k-1}{2}\right) M^2\right]^{\frac{k}{k-1}}$ $\frac{P_0}{P} = \left[1 + \left(\frac{k-1}{2}\right) M^2\right]^{\frac{1}{k-1}}$

$\frac{T^*}{T_0} = \frac{2}{k+1}$ $\frac{P^*}{P_0} = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}}$ $\frac{P^*}{P_0} = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{1}{k-1}}$

اثر تغییر سطح مقطع در جریان های اینترتریک یک بعدی

$\frac{dA}{A} = \frac{dP}{\rho v^2} (1 - M^2)$

تغییرات فشار سیال بر حسب سرعت جریان

ال جریان بدون صوت $M < 1 \rightarrow 1 - M^2 > 0 \rightarrow dP, dA, dv$ هم علامتند

با افزایش سرعت جریان فشار سیال افزایش یافته در مجرای بزرگتر کاهش و در مجرای کوچکتر افزایش می یابد

جریان افوق صوت $M > 1 \rightarrow 1 - M^2 < 0 \rightarrow dP, dA, dv$ غیر هم علامتند

با افزایش سرعت جریان فشار سیال کاهش می یابد و بالعکس سرعت جریان فشار سیال افزایش می یابد

$\frac{dv}{v} = \frac{1}{M^2 - 1} \frac{dA}{A}$ $\frac{dP}{P} = -M^2 \frac{dv}{v}$ $\frac{dP}{P} = \frac{k M^2}{1 - M^2} \frac{dA}{A}$ $\frac{dT}{T} = \frac{(k-1) M^2}{1 - M^2} \frac{dA}{A}$

$M > 1$

$M < 1$

$dV < 0$

$dV > 0$

$dM < 0$

$dM > 0$

$dP > 0$

$dP < 0$

$dp > 0$

$dp < 0$

$dt > 0$

$dt < 0$

موج
عکس
عکس

5

$M < 1$
مجاور

$M > 1$
مجاور

حالت خفگی

عدد آلترنی عرضی از یک سر عبور می کند که $M=1$ باشد و در جریان این فریزر و یک عدد آلترنی عرضی $\frac{PA^*}{\sqrt{T_0}}$

نازل بگل اوگرا

برای رسیدن به سرعت های مافوق صوت از نازل بگل اوگرا - و اگر استفاده کرد

* برای شتاب دادن به سیال در سرعت های مافوق صوت تا بیاز نازل بگل اوگرا در سرعت های مافوق صوت باید از نازل ¹⁰ استفاده کرد

* اگر جریان در بخش وگرای نازل مافوق صوت باشد گلوگاه باید دارای عدد ماخ یک باشد

امواج فریبی

1/2

تغیرات خواص در عرض آنها شده است در جریان های مافوق صوت این فریزر است که تغییر می دهد

$M_1 > 1$

$M_2 < M_1$

15

V_1
 P_1
 ρ_1
 T_1
 S_1
 P_{01}
 h_{01}



$V_2 < V_1$
 $P_2 > P_1$
 $\rho_2 > \rho_1$
 $T_2 > T_1$
 $S_2 < S_1$
 $P_{02} < P_{01}$
 $h_{02} < h_{01}$

* جریان در عرض یک موج فریبی آر یا ایک است و آنتالی کل در عرض یک موج فریبی ثابت است

* در موج فریبی قائم، آنتالی کل ثابت می ماند و در نتیجه برای مادی ایده آل رای کلن هم ثابت است

20

مولا جریان موج فریبی باید مافوق صوت باشد در پشت موج فریبی مایل مولا جریان مافوق صوت است

و مافوق صوت بودن سرعت جریان شرط لازم برای ایجاد موج فریبی قائم است

خطوط فاندورین

خط فاندورین جریان باید آر یا ایک همراه اصطکاک - خط فاندورین هم در سیالاتی است که دارای آنتالی کلن و ش



25

چربی کسان هستند

خط فاندورین: جریان باید آر یا ایک همراه اصطکاک همراه انتقال گرما

عدد آلترنی در $M=1$

جرمان آریا با یک پمپ با اصطکاک در یک کانال با مقطع کبیله است

اگر طول کانال را L نشان بدهیم

اگر جرمین ورودی بدون سرعت باشد با کاهش دبی جرمین در فاصله L نشان بدهیم
 در چار هفتگی می شود و افزایش بیشتر طول لوله عدد ریاض در دبی جرمین کاهش می یابد

جرمان آریا با یک پمپ	اصطکاک
$M < 1$	$M > 1$
↑	↓
سرعت V	
↑	↓
عدد ریاض M	
↓	↑
فشار P	
↓	↑
تول T	
↓	↑
چگالی ρ	
↓	↑
آنتالپی سکون h	
=	=
↓	↑
آنتروپی s	
↑	↓

در یک پمپ آریا با یک دبی سکون T_0 ثابت است یعنی می ماند

جرمان پمپ با اصطکاک

L_{max} حداکثر طول لوله

$$\frac{f L_{max}}{D} = \frac{1 - KM^2}{KM^2} + \ln(KM^2)$$

اگر $L > L_{max}$ باشد جرمین در چار هفتگی شده و دبی جرمین کاهش پیدا می کند

در جرمین آریا با یک عدد ریاض $M = 1$ می ماند و در جرمین پمپ با یک عدد $\frac{1}{\sqrt{K}}$ می ماند

Subject:

Year: Month: Day: ()

جرایم در کانال باز

عروق کانال و فاعده قائم ستر کانال تا سطح آزاد را در عروق کانال می نامند

مساحت جریمن A مساحت مقطع عرضی جریمن

محیط ترشده P طول محیط مقطع عرضی در تماس با مایع

$D_h = \frac{4A}{P}$ قطر هیدرولیکی

$R_h = \frac{A}{P}$ شعاع هیدرولیکی

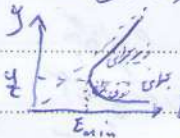
$y_h = \frac{A}{b}$ عمق هیدرولیکی

عمق هیدرولیکی برای کانال های غیر مستطیلی عن هیدرولیکی

عدد فروود $F_r = \frac{V}{\sqrt{gy}}$ سرعت انتشار امواج سطحی در جریمن

1) $F_r < 1$ زیر بحرانی (پایین دست برآورد تاثیر دارد) $F_r = 1$ جریمن بحرانی $F_r > 1$ فوق بحرانی (بالا دست جریمن تاثیر دارد)

انرژی مخصوص $E = y + \frac{V^2}{2g}$ (وقتی جریمن در عمود بر ستر کانال) E ارتعاج خط تر از انرژی EGL



برای کانال مستطیلی $E = y + \frac{Q^2}{2g y^3}$ (Q دس برابر برای واحد عرض کانال $Q = \frac{Q}{b}$)

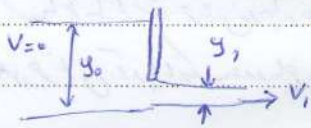
عروق بحرانی انرژی حداقل در عروق بحرانی

در عمق بحرانی $F_r = 1$ عدد فروود برابر یک است $F_r = \left(\frac{y_c}{y}\right) F_r$ $E_{min} = \frac{3}{2} y_c$ $y_c = \left(\frac{Q^2}{g}\right)^{\frac{1}{3}}$

در عمق بحرانی E_{min} رخ میراند و E با افزایش عرض کانال یعنی طولی نزدیک ترانی خود را می کشد

فوق بحرانی $F_r > 1$ $y_1 < y_c$ و $V_1 > V_c$ بحرانی $F_r = 1$ $y = y_c$ و $V = V_c$ زیر بحرانی $F_r < 1$ و $y_2 > y_c$ و $V_2 < V_c$

سرعت بحرانی $V_c = \sqrt{g y_c}$ (وقتی عمق هیدرولیکی در شرایط بحرانی) برای کانال مستطیلی $V_c = \sqrt{g y_c}$



$y_2 = \frac{V_1^2}{1.83g} + y_1$

هدا اکثر دبی حجمی خروجی در $\frac{y_2}{y_1} = \frac{2}{3}$



شیب کانال $S_b = \tan \theta$

سرعت بحرانی $V = c \sqrt{R_h S_b}$ $c = \left(\frac{149}{S}\right)^{\frac{1}{5}} = \frac{R_h^{\frac{1}{5}}}{n}$ ضریب مانینگ

$V = \frac{1}{n} R_h^{\frac{2}{3}} S_b^{\frac{1}{2}}$ $y_N = \left(\frac{n^2 Q}{\sqrt{S_b}}\right)^{\frac{2}{5}}$ انرژی نسبی

پیش از هیدرولیکی جریمن فوق بحرانی می توانست بعد از آن یک پیش هیدرولیکی به طور ناگهانی به جریمن زیر بحرانی تبدیل شود



انرژی افت انرژی $h_f = \frac{(y_1 - y_2)^3}{4 y_1 y_2}$ $\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2} (\sqrt{1 + 8 F_{r1}^2} - 1)$

Subject:

Year: Month: Day: ()

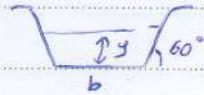
مقطع عرضی بهینه کانال

$$A = \left(\frac{nQ}{S_f} \right)^{\frac{2}{3}} P_f^{\frac{1}{3}}$$

برای آن یک ری جیبی یعنی مساحت جریان حداقل باشد
و وقتی محیط ترنزه حداقل باشد مساحت جریان هم حداقل است و ضرایب پیرودونگی حداقل می شود



$$b = 2y$$



$$b = \frac{2}{\sqrt{3}} y$$

شیب بحرانی

برگانه کانال طوری باشد که عمق طبیعی y_c برای یک ری جیبی دقیقاً با عمق بحرانی برابر شود. آن شیب را شیب بحرانی می گویند

$$S_c = \left(\frac{nQ}{R_h^2 A} \right)^2 = \frac{n^2 g A_c}{b_s R_{hc}^3}$$

$$S_c \text{ برای مستطیل} = \frac{n^2 g}{y_c^3}$$

$$S_c \text{ برای مثلث} = g n^2 \left(\frac{A}{b_s R_{hc}^3} \right)$$

b_s یعنی آب از عمق