دانشگاه صنعتی شاهرود

پدیده های انتقال

محمد احمدی دریاکناری

۱- نمره کوییز و تمرین ۶
۳- نمره کلاس های حل تمرین ۴
۳- نمره پایان ترم ۱۰

مراجع

۱- پدیده های انتقال برد

۲- مقدمه ای بر پدیده های انتقال در مواد گسکل

۳- جزوه پدیده های انتقال دکتر حلالی – استاد دانشگاه شریف

٤- جزوه پدیده های انتقال دکتر فیروزی – استاد دانشگاه امیرکبیر

برنامه درسی

هفته	
1	مقدمه و قانون ویسکوزیته نیوتن
2	ویسکوزیته غیرنیوتنی، ویسکوزیته سینماتیک و ویسکوزیته گازها
3	ویسکوزیته مایعات، ویسکوزیته سرباره، ویسکوزیته سوسپانسیون ها
4	موازنه لایه ای اندازه حرکت و شرایط مرزی جریان آرام، جریان فیلم لرزان
5	جریان در لوله مدور و جریان دوسیال امتزاج ناپذیر مجاور هم
6	جریان در حالت تراکم پذیر و ناپایدار ،جریان خزشی حول یک کره
7	جریا ن نا آرام، آزمایش رینولد، تئوری توربولنس
8	مفاهیم فیزیکی و معادلات نرخ انتقال حرارت
9	انتقال گرما از طریق رسانش ۱
10	انتقال گرما از طریق رسانش ۲
11	انتقال گرما از طریق هدایت
12	انتقال حرارت از طریق تشعشع

مقدمه

منظور از پدیده های انتقال ، انتقال سه بخش زیر است :

1. انتقال مومنتوم (دینامیک سیالات) 2. انتقال حرارت 3. انتقال جرم

چرا این سه بحث ظاهراً متفاوت را با هم بررسی می کنیم؟

عموماً این سه مورد انتقال با هم اتفاق می افتند . حداقل دو مورد با هم اتفاق می افتند. البته می توان مسئله را ساده کرد و ایزوله نمود و فقط یک مورد داشت . هم چنین فرم کلی معادلات این سه مورد شبیه به هم است . قوانین پایه آنها نیز مشابه است :

1. $\tau_{yx} = -\mu \frac{dV_x}{dy}$ ویسکوزیته نیوتن

2. $q_y = -k \frac{dT}{dy}$ هدایت فوریه

3. $j_{Ay} = -D_A \frac{dC_A}{dy}$ دیفوزیون فیک

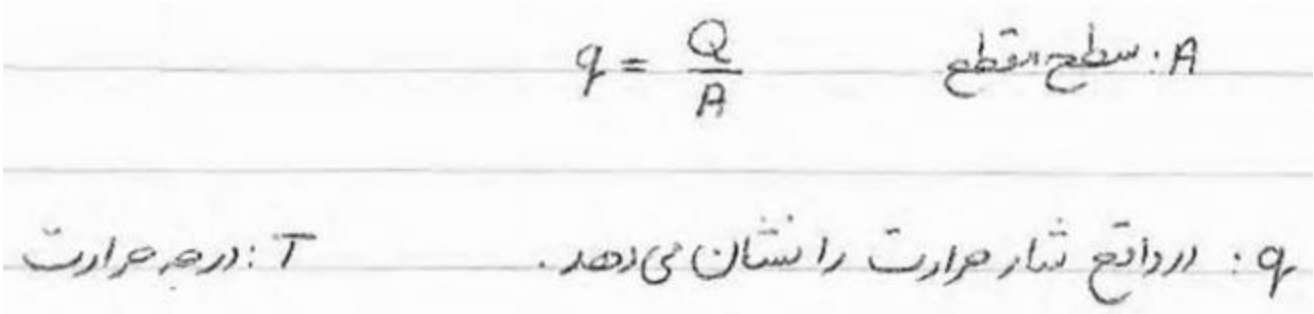
$$\tau_{yx} = -\mu \frac{dV_x}{dy}$$

- τ_{yx}: شار پدیده (در این جا مومنتوم)
- μ: ضریب تناسب
- $\frac{dV_x}{dy}$: گرادیان کمیت

تنش برشی $\tau = \frac{F}{A} = \frac{ma}{A} = \frac{m.V}{A.t} = \frac{P}{At}$

شار مومنتوم : $\frac{P}{At}$ ، P: مومنتوم

در سیالات تنش برشی موجب انتقال می شود



J شار نفوذ است، مقدار عبور ماده از سطح هر ناحیه در واحد زمان می‌باشد بنابراین به صورت mol/m^2s^1بیان می‌شود.

D ضریب نفوذ یا پخش می‌باشد. ابعاد آن سطح در واحد زمان می‌باشد؛ بنابراین یکای آن می‌تواند به صورت m2/sبیان گردد.

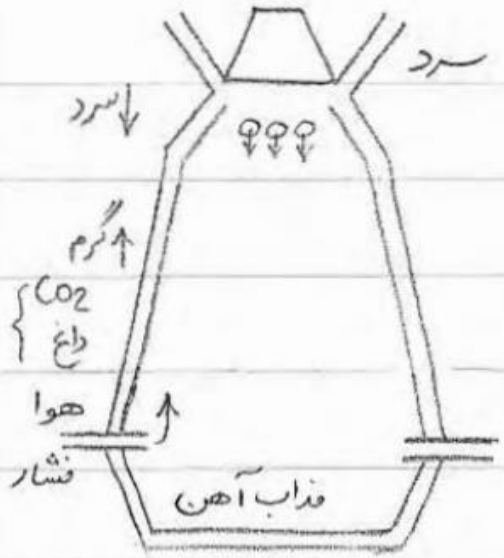
این پدیده‌ها در سه مقیاس بررسی می‌شوند :

1 ـ ماکروسکوپی cm ـ m ← بررسی اولیه مهندسی ـ کلی بودن . مثال : بررسی کلی راکتور

2 ـ میکروسکوپی micron ـ cm ← بررسی یک المان حجمی از کل وسیله . مثال : بخشی کوچک از راکتور

3 ـ مولکولی 1 ـ 1000 nm ← بررسی اتم‌ها و بررسی اثرشان روی یکدیگر ـ مثال : پیدا شدن ضرایب تناسب .

مثال . کوره بلند (مهم‌ترین راکتور متالورژیکی) ـ در ذوب آهن



ورودی : آهن و کک (سرد)

در کجا موستوم با ما سیال کار داریم .

چه مقدار فشار لازم است که هوا خارج شود ؟

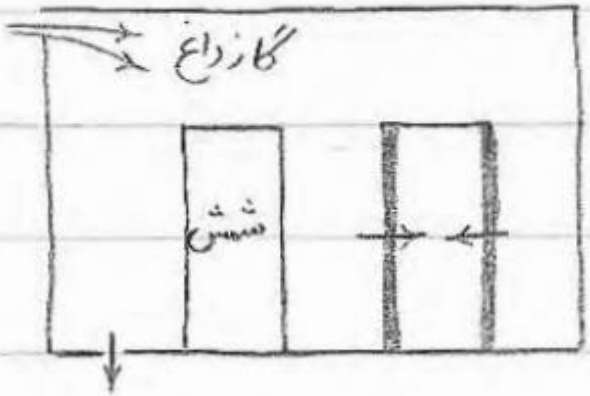
واکنش هایی که رخ می دهد در راکتور ← انتقال جرم

$CO_2 \uparrow$ ، FeO ، $CO \uparrow$ ، $\rightarrow Fe$

$CO \rightarrow CO_2$

آهن ← اکسید آهن

مثال . کوره های عملیات حرارتی



*_ گازی

انتقال حرارت از گاز داغ به شمش سرد

دینامیک و استاتیک سیال

سیال : ماده‌ایست که اگر تنش برشی هرچند کوچک به آن وارد شود ، مادامی که این تنش وجود دارد

حرکت می‌کند .

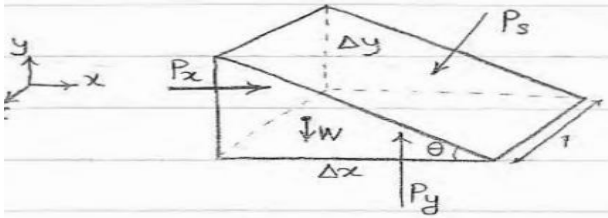
در دینامیک سیالات حرکت سیال داریم ولی در استاتیک سیالات ، سیال ساکن داریم .

بعبارت دیگر سیال تنش برشی را تحمل نمی‌کند ولی فشار را می‌تواند تحمل کند . پس در استاتیک سیالات

با تنش برشی نداریم ولی تنش فشاری داریم .

فشار دریک نقطه در سیالات ساکن

فشار در یک نقطه : یک المان حجمی در نظر می‌گیریم. (به شکل گوه)



P_s ، P_x و P_y از جانب دیگر سیالات وارد می‌شود و W نیز وزن المان است.

شرط تعادل : $\sum F = 0$

$F_x = P_x \cdot \Delta y \cdot 1$

$x: \quad P_x \Delta y = P_s \Delta S \cdot \sin\theta$

$y: \quad P_y \cdot \Delta x = P_s \cdot \Delta S \cdot \cos\theta + \rho \cdot V g$

$V = \frac{\Delta x \cdot \Delta y}{2}$

$\Delta y = \Delta S \cdot \sin\theta$

$\Delta x = \Delta S \cos\theta$

$\rightarrow P_x = P_s$

$(P_y - P_s)\Delta x = \rho g \frac{\Delta x \Delta y}{2}$

شرایط حدی : $\Delta x, \Delta y \rightarrow 0$

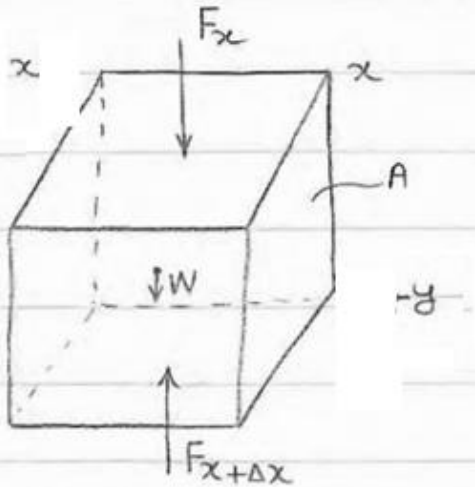
عمق را هم می‌توان به صفر میل داد.

$\Rightarrow \Delta x \cdot \Delta y \rightarrow 0 \quad \rightarrow P_y = P_s \quad \Rightarrow P_x = P_y = P_s$

نتیجه‌ی مهم : فشار در هر جهتی برای یک نقطه باهم برابر است.

تغییرات فشار در سیال ساکن

یک المان حجمی برای سیال در نظر می‌گیریم :



در راستای y ، برایند نیرو باید صفر باشد بعبارتی در طرفین سطح در جهت y ، اختلاف نیرو نداریم.

در غیراینصورت سیال جاری می‌شود .

$$P_x . A + A\,\Delta x\,\rho g = P_{x+\Delta x} A \longrightarrow \frac{P_{x+\Delta x} - P_x}{\Delta x} = \rho g$$

$$\Delta x \to 0 \longrightarrow \frac{dP}{dx} = \rho g \longrightarrow \int_{P_0}^{P} dP = \int_{x_0}^{x} \rho g\, dx$$

$$\longrightarrow \Delta P = P - P_0 = \rho g (x - x_0) = \rho g x \qquad x_0 = 0$$

- یک سیل بند چهار گوش به ابعاد 3m*3m به طور عمودی در آب قرار داده شده است. نیروی اعمالی آب به یک طرف سیل بند را محاسبه کنید؟ دانسیته آب ۱ گرم بر سانتی متر مکعب است

تغییرات فشار در گاز

برای گازها:

$$PV = nRT \qquad \rho = \frac{m}{V}$$

$$\rightarrow \frac{P}{\rho} = \frac{n}{m} RT = \frac{RT}{M} \qquad \rightarrow \rho = \frac{PM}{RT}$$

$$\rightarrow \frac{dP}{dx} = \rho g = \frac{PMg}{RT} \qquad \rightarrow \int \frac{dP}{P} = -\int g \frac{M}{RT} dx$$

$$\rightarrow \ln \frac{P}{P_0} = -\frac{Mgx}{RT} \qquad \rightarrow P = P_0 \exp\left(\frac{-Mgx}{RT}\right)$$

علامت منفی بدلیل جهت انتخابی محور x است.

- ارتفاع سنج یک هواپیما فشار را ۷۰ کیلو پاسکال گزارش می کند در حالیکه فشار در سطح دریا ۱۰۱ کیلو پاسکال و دما ۲۸۸ کلوین باشد. ارتفاع هواپیما در صورتیکه هوا گاز ایده ال و جرم مولی آن ۲۸,۸٤ گرم باشدو همچنین دما از سطح تا ارتفاع تغییر نکند،را پیدا کنید؟

حل مسألة

$$P = P_0 \, e^{\frac{-MgZ}{RT}}$$

$$75 \times 10^3 = 101 \times 10^3 \, e^{\frac{-0.029 \times 9.81 \times Z}{8.314 \times 288}}$$

$$\frac{75}{101} = e^{-y} \Rightarrow \ln \frac{75}{101} = -y$$

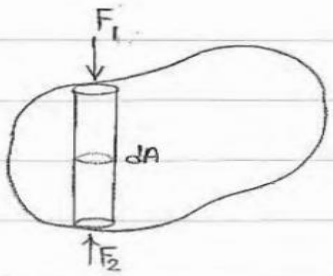
$$y = 0.299$$

$$0.299 = \frac{0.029 \times 9.81 \times Z}{8.314 \times 288} \Rightarrow Z = 2490.5\,m$$

نیروی ارشمیدسی

از طرف سیال نیروی معادل حجم جسم شناور روی سیال از پائین به بالا وارد می‌شود.

درواقع مستقل از وزن جسم می باشد. یک المان از جسم شناور در نظر می‌گیریم:



تنش برشی نداریم چون استاتیک است.

$$dF_B = P_{x_2}\,dA - P_{x_1}\,dA = (P_{x_2} - P_{x_1})\,dA$$

$$= \rho g (x_2 - x_1)\,dA$$

$$\rightarrow F_B = \rho g \int (x_2 - x_1)\,dA$$

فرض: دانسیته ثابت است (مایعات)

برای گازها نیز در اختلاف ارتفاع کم، دانسیته تقریباً ثابت است.

$$\rightarrow F_B = \rho g V$$

V: حجم جامد ρ: چگالی سیال

تذکر. این نیرو به جرم بستگی ندارد.

یک شی در هوا و آب به ترتیب ۳ N و ۱/۵ N وزن دارد. اگر دانسیته آب $1000\ kg/m^3$ باشد دانسیته شی چقدر است؟ موازنه نیروها در شکل زیر نشان داده شده است.

کاهش وزن شی در اثر فرو بردن در آب بواسطه همان نیروی ارشمیدس است که برابر وزن آب جابجا شده است.

وزن آب جابجا شده = نیروی ارشمیدس (شناوری) = کاهش وزن

$= \rho_f g$ (حجم شی)

بنابراین

$$\text{حجم شی} = \frac{\text{نیروی ارشمیدس}}{\rho_f g}$$

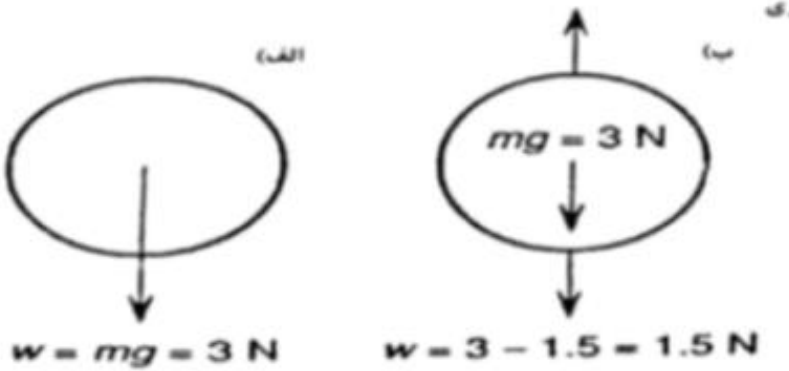
اما

$$\text{وزن شی در هوا} = \rho_s g \text{ (حجم شی)} = \frac{\rho_s \times \text{نیروی ارشمیدس}}{\rho_f}$$

بنابراین

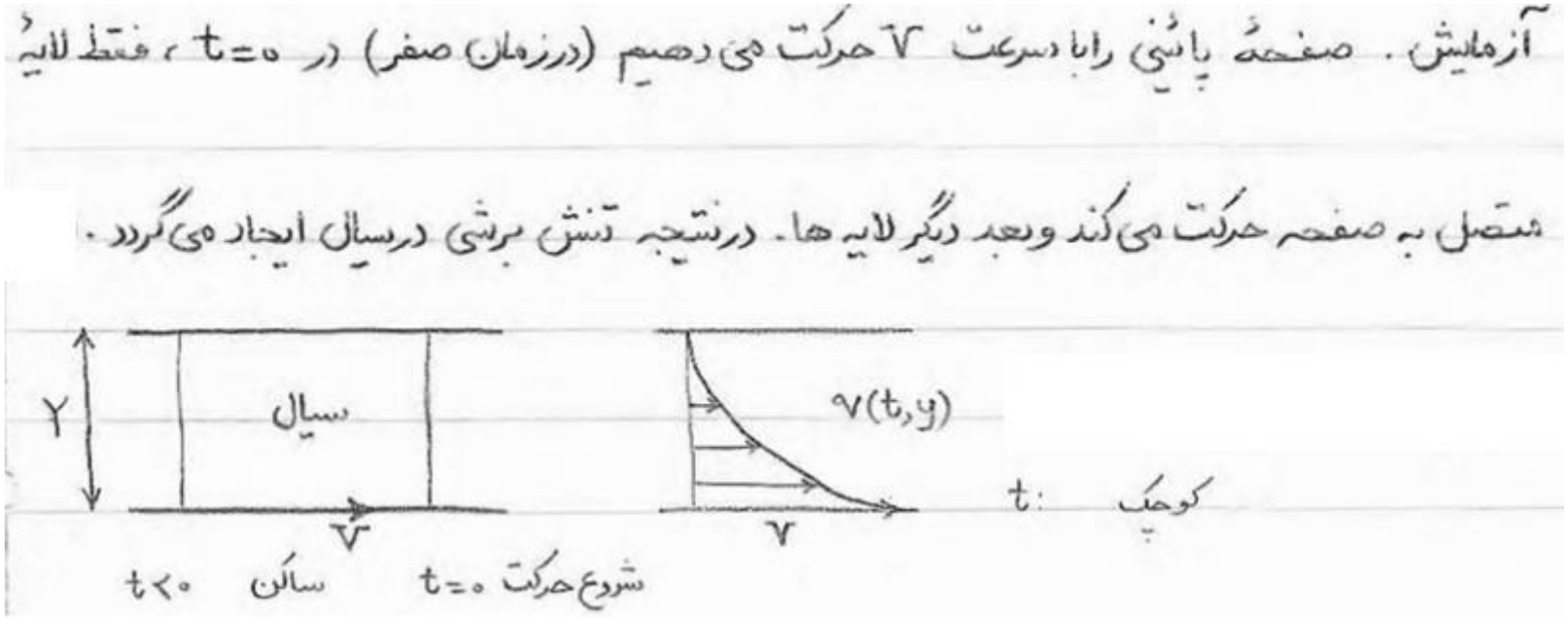
$$\rho_s = \frac{\rho_f \times \text{وزن شی در هوا}}{\text{نیروی ارشمیدس}} = \frac{1000 \times 3}{3 - 1/5} = 2000\ kg/m^3$$

1.5 N = نیروی شناوری



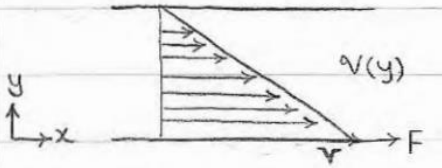
اختلاف بین وزن موجود شی، وقتی
الف) در هوا وزن شود. ب) در آب وزن شود.

قانون ویسکوزیته نیوتن



صفحه بالا ساکن باقی بماند و صفحه پایین با سرعت حرکت کند، لایه‌ای از سیال که در نزدیکی صفحه پایینی قرار دارند شروع به حرکت می‌کند و حرکت این لایه به تدریج باعث حرکت لایه‌های بالایی سیال نیز می‌شود.

قانون ویسکوزیته نیوتن در حالت پایدار



t طولانی (Steady State شرایط پایدار)

در اینجا سرعت تابعی از زمان نیست.

A : سطح صفحه F : نیروئی که به صفحهٔ بالائی وارد می‌شود.

$$F \propto A \frac{V}{Y} \longrightarrow \frac{F}{A} = \mu \frac{V}{Y}$$

μ : ضریب تناسب $\tau_{yx} = -\mu \frac{dV_x}{dY}$: فرم دیفرانسیلی

توسط نیروی F ، مومنتوم از صفحهٔ جامد به سیال وارد می‌شود. این انتقال در جهت y انجام می‌شود. سرعت از پائین به بالا کم می‌شود یعنی $\frac{dV_x}{dY} < 0$ است ولی $\tau_{yx} > 0$ است. به همین دلیل علامت منفی لحاظ می شود. اندیس اول: جهت انتقال مومنتوم τ_{yx}

" دوم: جهت سرعت

شار اندازه‌حرکت τ_{yx} را برحسب $\mathrm{lb}_f/\mathrm{ft}^2$ محاسبه کنید، هرگاه بدانیم سرعت صفحهٔ پایینی ویسکوزیتهٔ V در شکل **قبل** برابر $1\ \mathrm{ft/s}$ درجهت مثبت x، فاصلهٔ بین دو صفحه، Y برابر $0{,}001\ \mathrm{ft}$ و ویسکوزیتهٔ سیال، μ، برابر $0{,}7\ \mathrm{cp}$ است.

حل

چون τ_{yx} برحسب واحدهای انگلیسی خواسته شده‌است، باید ویسکوزیته را به این دستگاه آحاد تبدیل کنیم. بنابراین، با استفاده از پیوست (و)، مشاهده می‌شود که:

$$\mu = (0{,}7\ \mathrm{cp})(2{,}0886 \times 10^{-5}) = 1{,}46 \times 10^{-5}\ \mathrm{lb}_f\mathrm{s/ft}^2$$

توزیع سرعت خطی است، بنابراین:

$$\frac{dv_x}{dy} = \frac{\Delta v_x}{\Delta y} = \frac{-1{,}0\ \mathrm{ft/s}}{0{,}001\ \mathrm{ft}} = -1000\ \mathrm{s}^{-1}$$

$$\tau_{yx} = -\mu\frac{dv_x}{dy} = -(1{,}46 \times 10^{-5})(-1000) = 1{,}46 \times 10^{-2}\ \mathrm{lb}_f/\mathrm{ft}^2$$

جدول و.۳ـ۴ ضریب‌های تبدیل برای کمیت‌هایی با ابعاد M/Lt یا Ft/L^2 (ویسکوزیته، چگالی ضرب‌در ضریب نفوذ).

کمیت برحسب این واحدها را درمقدار جدول ↓	ضرب کنید تا به این واحدها تبدیل شود →	pa · s (kg/m · s)	g/cm · s (poises)	سانتی‌پوئاز	$\mathrm{lb}_m/\mathrm{ft}\cdot\mathrm{s}$	$\mathrm{lb}_m/\mathrm{ft}\cdot\mathrm{hr}$	$\mathrm{lb}_f\cdot\mathrm{s/ft}^2$
pa · s = kg/m · s		1	10	10^3	$6{,}7197\times10^{-1}$	$2{,}4191\times10^{3}$	$2{,}0886\times10^{-2}$
g/cm · s (پوئاز)		10^{-1}	1	10^2	$6{,}7197\times10^{-2}$	$2{,}4191\times10^{2}$	$2{,}0886\times10^{-3}$
سانتی‌پوئاز		10^{-3}	10^{-2}	1	$6{,}7197\times10^{-4}$	$2{,}4191$	$2{,}0886\times10^{-5}$
$\mathrm{lb}_m/\mathrm{ft}\cdot\mathrm{s}$		$1{,}4882$	$1{,}4882\times10^{1}$	$1{,}4882\times10^{3}$	1	3600	$3{,}1081\times10^{-4}$
$\mathrm{lb}_m/\mathrm{ft}\cdot\mathrm{hr}$		$4{,}1338\times10^{-4}$	$4{,}1338\times10^{-3}$	$4{,}1338\times10^{-1}$	$2{,}7778\times10^{-4}$	1	$8{,}6336\times10^{-6}$
$\mathrm{lb}_f\cdot\mathrm{s/ft}^2$		$4{,}7880\times10^{1}$	$4{,}7880\times10^{2}$	$4{,}7880\times10^{2}$	32,1740	$1{,}1583\times10^{5}$	1

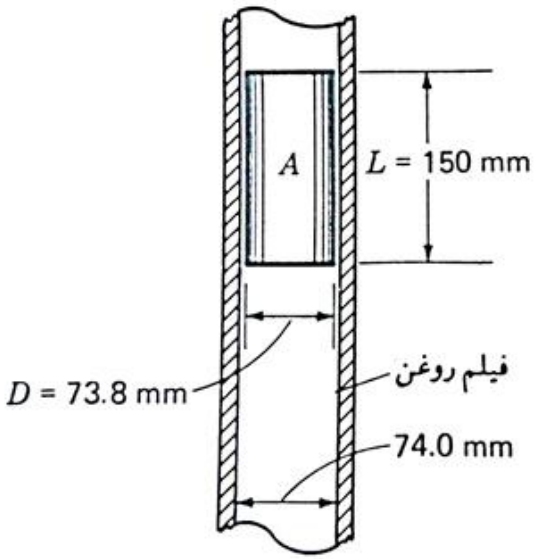
یک پوند ۰/۴۵۴ kg

انچ ۱۲ انچ

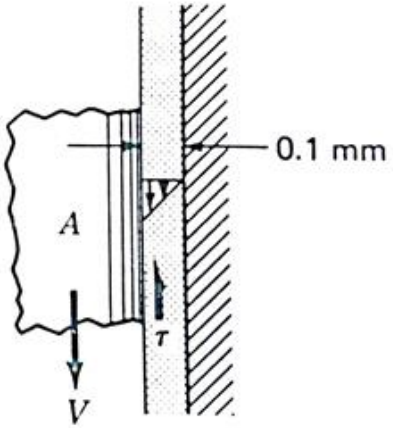
انچ ۲/۵۴ سانتی متر

سرعت گرانشی $\frac{32.17 ft}{s} = 9.81 \frac{m}{s}$

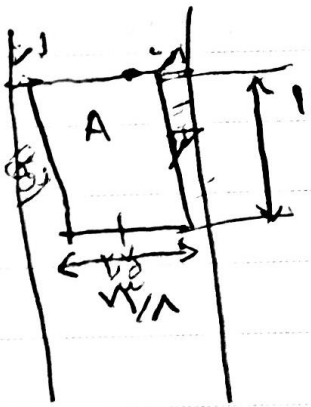
- استوانه جامد **A** به جرم ۲,۵ کیلوگرم در شکل زیر نشان داده شده است، در داخل لوله ای به طرف پایین می لغزد استوانه و لوله کاملا هم محور بوده و لایه ای از روغن بین سطوح ان وجود دارد. ویسکوزیته روغن $0.007\ N.s/m^2$ می باشد. سرعت حد استوانه V_T ، یعنی سرعت ثابت نهایی آن چقدر است؟ از اثرات فشار هوا صرفنظرکنید.



استوانهٔ A در یک لولهٔ روغنکاری شده می‌لغزد



پروفیل سرعت خطی در فیلم روغن



$$\tau_{yx} = \frac{\Delta v}{\Delta x} = \frac{\quad - \quad}{0 - 0.15\,m} = 1000\ v$$

$$\tau_{yx} = -\mu \frac{\Delta v}{\Delta x} =$$

$$\tau_{yx} = 7 \times 10^{-3}\,(10/000)\,v = 70\,v$$

$\tau(A)$ سطحی که روی خمیر می‌کند

$$\tau(\pi D)\,L = 70\,(v) \times \pi$$

$$0/07348 \times 0/150 = 2/5 \quad (9/81)$$

$$\Rightarrow v_T = 10/07\ m/s$$

یک غلاف استوانه‌ای بر روی محوری استوار شده است. درز بین محور و غلاف محتوی سیال نیوتنی است. محور و غلاف هم محورند. هر گاه غلاف را با نیروی $600N$ در امتداد محور بکشیم، به سرعت $1m/s$ می‌رسد. اگر آن را با نیروی $1500\text{-}N$ بکشیم، به چه سرعتی خواهد رسید؟ دمای غلاف ثابت باقی می‌ماند.

✍ حل:

$$\tau=\mu\frac{du}{dy}=\mu\frac{u}{t}\ ;\ \tau=\frac{F}{A}$$

بنابراین:

$$F=\mu\frac{A}{t}u=C.u\ ;\ C=\text{ثابت}$$

$$F_1=Cu_1 \text{ و } F_2=Cu_2$$

$$u_2=\frac{F_2}{F_1}.u_1=\frac{1500}{600}(1)\Rightarrow u_2=2.5\,m/s$$

Activate
Go to Settir