

جزوه انتقال حرارت کنکور کارشناسی ارشد

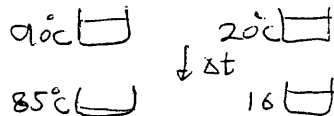
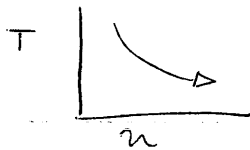
استاد: دکتر رشیدی

См. 115094

{ Holman
ozick.

۱۱. هلیت (۲۷) جابجایی (۲) تشعشع
۱۲. میراها (۵) خوشش و میعان.

آب سرد
آب جوش در دوا فیروز : آب جوش زرد تخم میزند . (این ادعا دوسریست)
صلت : مرغ کاهتن مردم .
(که برون آب صاف است)


$$T_{\text{نقطة انصهار}} > T_{\text{انصهار}}$$


(*) گلابان ہما درجہ بہ انقال حرارت چھوڑہ ہستی منفی اند .

$$\frac{\partial T}{\partial n} < 0$$

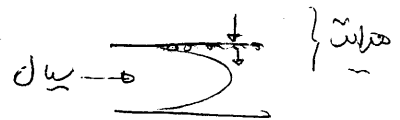
(*) مطبوعه های انتقال حرارت : درصدمات به عبارت اولیّت تودر عیسم لاند (رم ، مایعات و گازها) و لاند لاند درصدمات .

$$q = -k_s \nabla T$$

در هلمن این نورانی سطح ثابت داده است. $Q = q \cdot A$ " انکار

$$r = R \quad ; \quad V = 0$$

No slip velocity = سرعت لغزش



منته رستم
منته رستم
انتقال حرارت در این مایه

اُر مَنہ رُم بایں بُرد جی و آزارِ جوانِ یور

۱- کتب و اسناد خطی

سوال → "طریقہ ہمارے افضل متحرک کیلئے وضع شدہ درجہ بندی ہے"

باب اول

$$Q_{\text{فاز}} = Q_{\text{ساق (هوا)}} \rightarrow -k \frac{dT}{dn} \Big|_{\text{فاز}} = -k \frac{dT}{dn} \Big|_{\text{ساق}}$$

$$\rightarrow \frac{dT}{dn} \big|_{\text{هرا}} > \frac{dT}{dn} \big|_{\text{فزا}}$$

$$q = -k \nabla T$$

که توجه علامت ندارد

$$q = - \left(k \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) \hat{i} + k \frac{\partial T}{\partial y} \hat{j} + k \frac{\partial T}{\partial z} \hat{k} \right)$$

فقط در سطح کارترین مادی است.

قوانین عمومی: General Law : لاند بقای جرم، انرژی و جرم.

قوانین خاصه: Particular : بر اساس فرضیه ج بوجود می آید.
با آزمون. مثل قانون فویر، سرد شدن نیرون
قانون اول و دوم فیک،

k: ضریب رسانش با توجه به جنس ماده بیانده بیانیه یا به عبارت دیگر بیانده توان رسانایی
هم می باشد.

k همواره گیتی مثبت می باشد. اگر منفی باشد قانون دوم را نقض می شود.

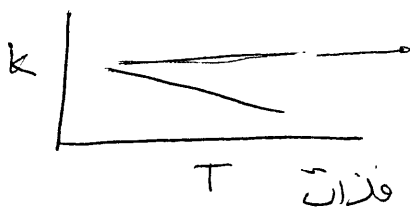
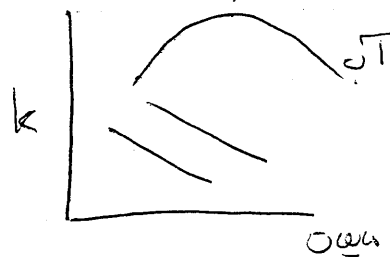
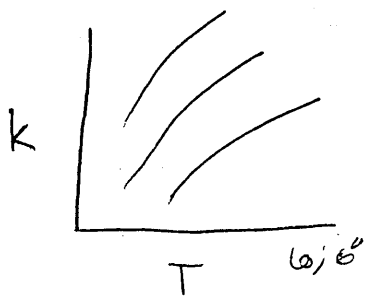
$$q = -k \frac{dT}{dn}$$

$$q = +k \frac{dT}{dn}$$

هر وقت جهت انتقال حرارت هم جهت محور
باشد رابطه اول در غیر این صورت
رابطه دوم صادق است.

$$\frac{q}{r}$$

$$q = +k \frac{dT}{dr}$$



آبوسیم: رو به افزایش
+ ضریب

برخی فولادها افزایش و برخی کاهش دارند.

فشار: روی مایعات و سطوح صاف تأثیر زیادی ندارد.
با افزایش فشار، ضرایب انتقال حرارتی باید.

تئوری سینیت کارها: $k \sim \sqrt{T}$ ^{نسبتی مطلق} برای گازها:

روابط سینیت کارها: $k \sim D$ $k \sim \mu$
 $D \sim T^{\frac{1}{2}}$ $\mu \sim T^{\frac{1}{2}}$

طبیعی:
حرکت قوده جریان عامل انتقال حرارت.

$$Nu = Nu(Re, Pr)$$

تایید صحت
ماده مثل $\rightarrow$ $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{3}$ $\frac{1}{4}$ $\frac{1}{5}$ $\frac{1}{6}$ $\frac{1}{7}$ $\frac{1}{8}$ $\frac{1}{9}$ $\frac{1}{10}$ $\frac{1}{11}$ $\frac{1}{12}$ $\frac{1}{13}$ $\frac{1}{14}$ $\frac{1}{15}$ $\frac{1}{16}$ $\frac{1}{17}$ $\frac{1}{18}$ $\frac{1}{19}$ $\frac{1}{20}$ $\frac{1}{21}$ $\frac{1}{22}$ $\frac{1}{23}$ $\frac{1}{24}$ $\frac{1}{25}$ $\frac{1}{26}$ $\frac{1}{27}$ $\frac{1}{28}$ $\frac{1}{29}$ $\frac{1}{30}$ $\frac{1}{31}$ $\frac{1}{32}$ $\frac{1}{33}$ $\frac{1}{34}$ $\frac{1}{35}$ $\frac{1}{36}$ $\frac{1}{37}$ $\frac{1}{38}$ $\frac{1}{39}$ $\frac{1}{40}$ $\frac{1}{41}$ $\frac{1}{42}$ $\frac{1}{43}$ $\frac{1}{44}$ $\frac{1}{45}$ $\frac{1}{46}$ $\frac{1}{47}$ $\frac{1}{48}$ $\frac{1}{49}$ $\frac{1}{50}$ $\frac{1}{51}$ $\frac{1}{52}$ $\frac{1}{53}$ $\frac{1}{54}$ $\frac{1}{55}$ $\frac{1}{56}$ $\frac{1}{57}$ $\frac{1}{58}$ $\frac{1}{59}$ $\frac{1}{60}$ $\frac{1}{61}$ $\frac{1}{62}$ $\frac{1}{63}$ $\frac{1}{64}$ $\frac{1}{65}$ $\frac{1}{66}$ $\frac{1}{67}$ $\frac{1}{68}$ $\frac{1}{69}$ $\frac{1}{70}$ $\frac{1}{71}$ $\frac{1}{72}$ $\frac{1}{73}$ $\frac{1}{74}$ $\frac{1}{75}$ $\frac{1}{76}$ $\frac{1}{77}$ $\frac{1}{78}$ $\frac{1}{79}$ $\frac{1}{80}$ $\frac{1}{81}$ $\frac{1}{82}$ $\frac{1}{83}$ $\frac{1}{84}$ $\frac{1}{85}$ $\frac{1}{86}$ $\frac{1}{87}$ $\frac{1}{88}$ $\frac{1}{89}$ $\frac{1}{90}$ $\frac{1}{91}$ $\frac{1}{92}$ $\frac{1}{93}$ $\frac{1}{94}$ $\frac{1}{95}$ $\frac{1}{96}$ $\frac{1}{97}$ $\frac{1}{98}$ $\frac{1}{99}$ $\frac{1}{100}$

طبیعی
حرکت قوده جریان عامل انتقال حرارت.

$$Nu = Nu(Gr, Pr)$$

تایید صحت
ماده مثل $\rightarrow$ $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{3}$ $\frac{1}{4}$ $\frac{1}{5}$ $\frac{1}{6}$ $\frac{1}{7}$ $\frac{1}{8}$ $\frac{1}{9}$ $\frac{1}{10}$ $\frac{1}{11}$ $\frac{1}{12}$ $\frac{1}{13}$ $\frac{1}{14}$ $\frac{1}{15}$ $\frac{1}{16}$ $\frac{1}{17}$ $\frac{1}{18}$ $\frac{1}{19}$ $\frac{1}{20}$ $\frac{1}{21}$ $\frac{1}{22}$ $\frac{1}{23}$ $\frac{1}{24}$ $\frac{1}{25}$ $\frac{1}{26}$ $\frac{1}{27}$ $\frac{1}{28}$ $\frac{1}{29}$ $\frac{1}{30}$ $\frac{1}{31}$ $\frac{1}{32}$ $\frac{1}{33}$ $\frac{1}{34}$ $\frac{1}{35}$ $\frac{1}{36}$ $\frac{1}{37}$ $\frac{1}{38}$ $\frac{1}{39}$ $\frac{1}{40}$ $\frac{1}{41}$ $\frac{1}{42}$ $\frac{1}{43}$ $\frac{1}{44}$ $\frac{1}{45}$ $\frac{1}{46}$ $\frac{1}{47}$ $\frac{1}{48}$ $\frac{1}{49}$ $\frac{1}{50}$ $\frac{1}{51}$ $\frac{1}{52}$ $\frac{1}{53}$ $\frac{1}{54}$ $\frac{1}{55}$ $\frac{1}{56}$ $\frac{1}{57}$ $\frac{1}{58}$ $\frac{1}{59}$ $\frac{1}{60}$ $\frac{1}{61}$ $\frac{1}{62}$ $\frac{1}{63}$ $\frac{1}{64}$ $\frac{1}{65}$ $\frac{1}{66}$ $\frac{1}{67}$ $\frac{1}{68}$ $\frac{1}{69}$ $\frac{1}{70}$ $\frac{1}{71}$ $\frac{1}{72}$ $\frac{1}{73}$ $\frac{1}{74}$ $\frac{1}{75}$ $\frac{1}{76}$ $\frac{1}{77}$ $\frac{1}{78}$ $\frac{1}{79}$ $\frac{1}{80}$ $\frac{1}{81}$ $\frac{1}{82}$ $\frac{1}{83}$ $\frac{1}{84}$ $\frac{1}{85}$ $\frac{1}{86}$ $\frac{1}{87}$ $\frac{1}{88}$ $\frac{1}{89}$ $\frac{1}{90}$ $\frac{1}{91}$ $\frac{1}{92}$ $\frac{1}{93}$ $\frac{1}{94}$ $\frac{1}{95}$ $\frac{1}{96}$ $\frac{1}{97}$ $\frac{1}{98}$ $\frac{1}{99}$ $\frac{1}{100}$

$$q = h(T_w - T_\infty)$$

$$Q = q A$$

میزان تشعشع
جمع شده

$$E_b = \sigma T^4$$

سجرات مطلق $\rightarrow$ له ثابت استفاد بولتون

تابش و تشعشع:

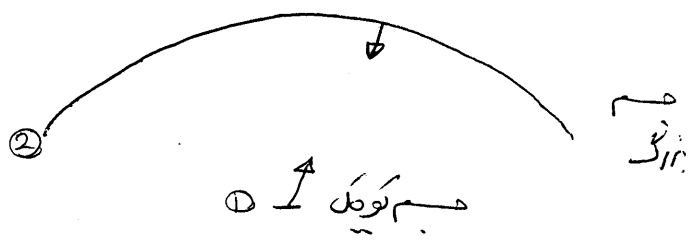
$$Q = \epsilon E_b$$

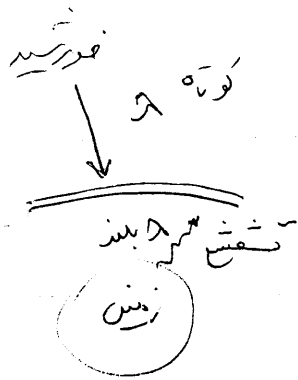
انتشار رازید جمع واقع
له ضرب نسبت

$$0 < \epsilon < 1$$

$$Q = \epsilon_1 A_1 \sigma (T_1^4 - T_2^4)$$

همی اگر جسم هم در حالت تشعشع دارند.





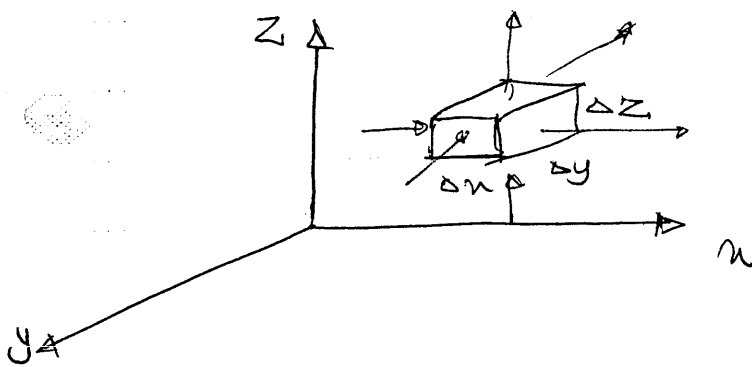
پدیده طیفی نه‌ای (آثر گلخانه‌ای) :
فیلتر تشعشع

برخ‌کارها CH_4 , CO_2 , N_2O

این‌کارها λ بلند را جذب و تشعشع کرده .

CO_2	CH_4	N_2O
① 56	260	

CFR : λ طیفی نه‌ای ۱۰۰۰۰ برابر CO_2 .



مولفه انرژی در یک دایره همدیگر :

$$q_x \Delta y \Delta z \big|_x - q_x \Delta y \Delta z \big|_{x+\Delta x} +$$

$$q_y \Delta x \Delta z \big|_y - q_y \Delta x \Delta z \big|_{y+\Delta y} +$$

$$q_z \Delta x \Delta y \big|_z - q_z \Delta x \Delta y \big|_{z+\Delta z} + \dot{Q} \Delta x \Delta y \Delta z =$$

$$= \frac{\partial E}{\partial t} = \left(\frac{\partial \rho C T}{\partial t} \Delta x \Delta y \Delta z \right)$$

$$\rightarrow \frac{k \frac{\partial T}{\partial x} \big|_{x+\Delta x} - k \frac{\partial T}{\partial x} \big|_x}{\Delta x} + \frac{k \frac{\partial T}{\partial y} \big|_{y+\Delta y} - k \frac{\partial T}{\partial y} \big|_y}{\Delta y} + \frac{k \frac{\partial T}{\partial z} \big|_{z+\Delta z} - k \frac{\partial T}{\partial z} \big|_z}{\Delta z} + \dot{Q} = \rho C \frac{\partial T}{\partial t}$$

این معادله حفظ انرژی:

$$\nabla \cdot (k \nabla T) + \dot{q} = \rho c \frac{\partial T}{\partial t}$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{q} = \rho c \frac{\partial T}{\partial t}$$

چون α ثابت و مواردی که در جهت مختلف خواص مختلف دارند یا به هم ترکیبی
اگر هم در آن باشد که از خواص مشتقات خارج می‌شود.

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\dot{q}}{k} = \frac{\rho c}{k} \frac{\partial T}{\partial t}$$

$$\nabla^2 T + \frac{\dot{q}}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad \alpha = \frac{k}{\rho c}$$

α ضریب نفوذ حرارتی:

$\alpha \uparrow$ نفوذ حرارتی $\uparrow$

k رسانایی نوکله‌ای و هدایت حرارتی

مضامین استوانه‌ای:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \phi^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\dot{q}}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t}$$

مضامین کره‌ای:

$$\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \dots + \frac{\dot{q}}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t}$$

مضامین یک بعدی:

$$q = -k \frac{dT}{dn}$$

$$Q = -kA \frac{dT}{dn}$$

اگر فرض کنیم که با دمای تغییرات:

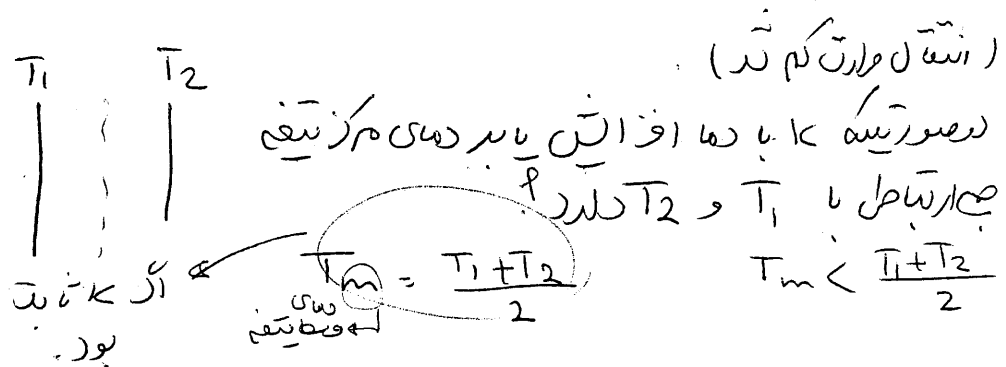
$$Q = kA \frac{\Delta T}{\Delta n}$$

$$k = k_0 (1 + \beta T)$$

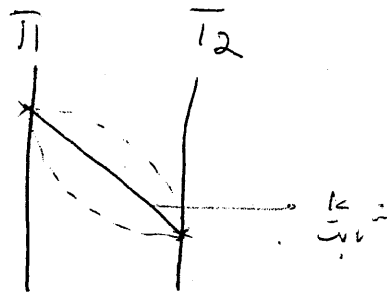
$$Q = \frac{k \cdot A}{\Delta n} \left((T_1 - T_2) + \frac{B}{2} (T_1^2 - T_2^2) \right)$$

$$k = k \cdot (1 - BT) \rightarrow$$

$$Q = \frac{k \cdot A}{\Delta n} \left((T_1 - T_2) - \frac{B}{2} (T_1^2 - T_2^2) \right)$$



$$T_m > \frac{T_1 + T_2}{2}$$



تساوی (۸۵)

تولر متوسط ۲L

$$n = \infty \quad T = 95$$

$$n = L \quad T = 62$$

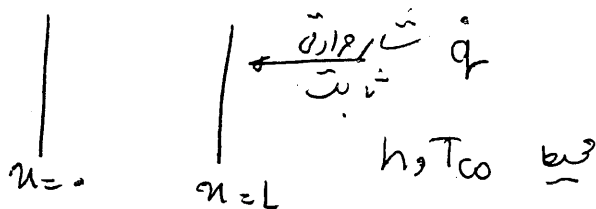
$$n = 2L \quad T = 35$$

ک مقول از دما

ر ر ر ر

✓ k با افزایش دما کم شود

ر ر ر ر



در $n = L$ شرایطی؟

$$\dot{q} + k \frac{\partial T}{\partial n} - h(T - T_{\infty}) = 0$$

$$\dot{q} + k \frac{\partial T}{\partial n} + h(T - T_{\infty}) = 0$$

$$\dot{q} - k \frac{dT}{dn} + h(T - T_{\infty}) = 0$$

$$\dot{q} - k \frac{\partial T}{\partial n} - h(T - T_{\infty}) = 0$$

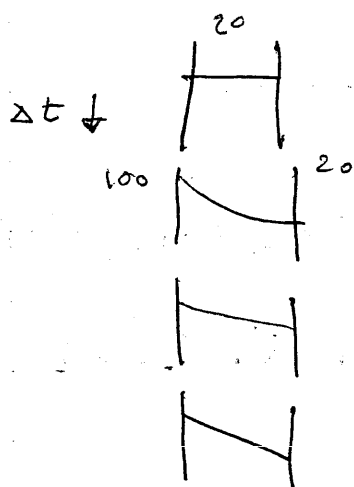
این سیم در حال سرد شدن است یا گرم شدن ؟
 * در حال سرد شدن



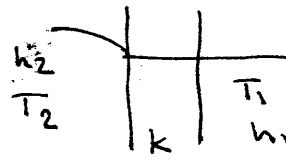
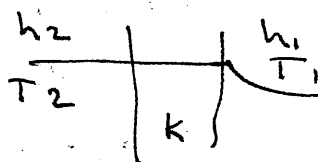
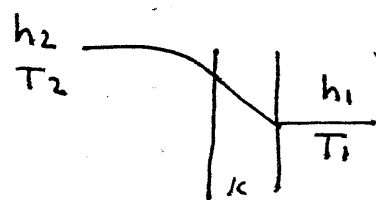
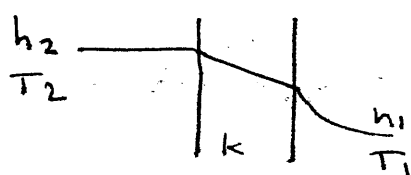
* در حال گرم شدن



چنانکه شیب بتدریج بودن انتقال حرارت از راست به چپ دیده



اگر $h_1 > h_2$, $T_2 > T_1$



اگر h ضعیف بزرگ باشد در این دما در یک فاصله بسیار کوچک اختلافی در دما دیده می شود.
 شکل خط دیده می شود.

$$Q = \frac{\text{انرژی منتقل شده}}{\text{مقاومت}}$$

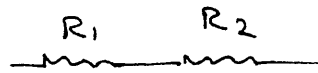
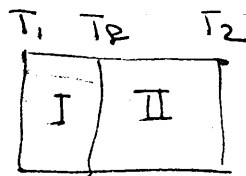
$$Q = kA \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

$$= \frac{\Delta T}{\frac{\Delta x}{kA}}$$

انتقال حرارت در محیط های چند لایه :
 در سیستم همصورت کارترین (یک لایه) :

$$\rightarrow R = \frac{\Delta x}{kA}$$

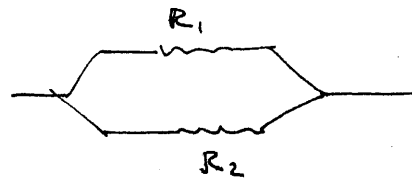
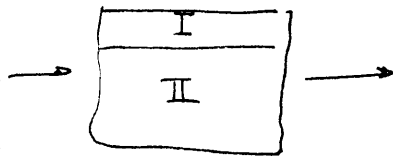
در سیستم کارترین هم لایه ها
 موازی
 ترکیب از این دو



$$R = R_1 + R_2$$

$$Q = \frac{\Delta T}{\frac{\Delta x_1}{k_1 A} + \frac{\Delta x_2}{k_2 A}}$$

هیچ فاصله ندارد (در نظر نزن) کدام ناحیه را در ابتدا یا انتها قرار دهیم (ترتیب عایق اثری ندارد).

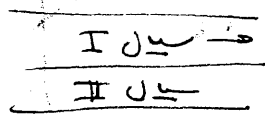


$$Q = \frac{\Delta T}{\sum R}$$

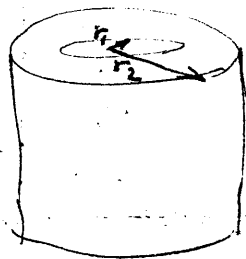
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \text{مقاومت معادل}$$

در فصل مترك انتقال حرارت و رسانایی

$$k \frac{T_1 - T_P}{\Delta x_1} = k \frac{T_P - T_2}{\Delta x_2}$$



روی سطح مترك سرعت و دما را بدین ترتیب



$$R = \frac{\ln r_2 / r_1}{2\pi L k}$$

$$Q = -k(A_r) \frac{dT}{dr} \quad \text{فصل ۵: انتقال استوانه‌ای}$$

$$A_r = 2\pi r L$$

$$Q = -k(2\pi r L) \frac{dT}{dr}$$

$$Q = \frac{\Delta T}{\frac{\ln r_2 / r_1}{2\pi k L}}$$

$$Q = -k A_r \frac{dT}{dr} \quad \text{فصل ۶: کره‌ای}$$

$$A_r = 4\pi r^2$$

$$Q = -k(4\pi r^2) \frac{dT}{dr}$$

$$Q = \frac{\Delta T}{\frac{(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2})}{4\pi k}}$$

در سیستم انتقالی و گردی : مقاومت هافقط بصورت سری هستند.

مقاومت جایی : $Q = hA\Delta T$

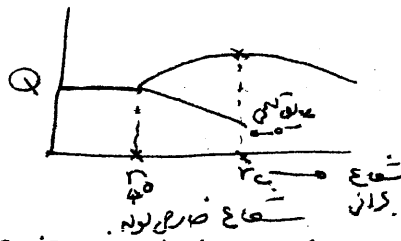
$$Q = \frac{\Delta T}{\frac{1}{hA}}$$

$$Q \sim \frac{1}{\Delta m}$$

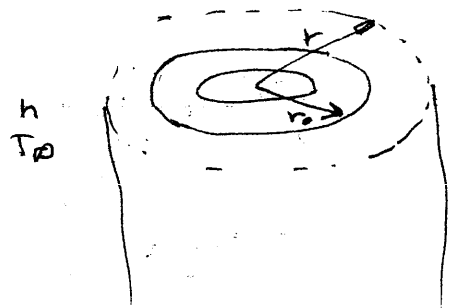
شعاع جایی :

$$Q \sim A$$

در سیستم های انتقالی و گردی با افزایش ضخامت افزایش سطح داریم.



نمودار پایین وقتی که r_0 بیشتر از r_c باشد دقتانی یافتند.



$$Q = \frac{\Delta T}{\frac{\ln r/r_0}{2\pi Lk} + \frac{1}{h(2\pi rL)}}$$

توجه : کالایق $\frac{dQ}{dr} = 0 \rightarrow \boxed{r = \frac{k}{h}}$

همچنین کالایق بزرگتر باشد شعاع جایی

بزرگ است پس باید از عایق با k کم استفاده کرد.

در صورتی که h خیلی بزرگ شود $r_c \rightarrow 0$

بخار آب I - میعان میابد
بخار آب II - میعان میابد
بخار آب I - میعان میابد
در صورتی که $T_I > T_{II}$ باشد مقاومت ترمال کمتر شود و دقت بیشتری دارد.
5-10 درجه سانتیگراد

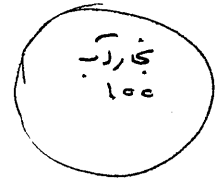
بخار I / بخار II / بخار III

$$Q = \frac{\Delta T}{R_1 + R_2 + \dots}$$

در یک فن فولاد با پهنای ۱۰۰ به ضخامت ۲ mm بخار در دمای آن بخار آب ۱۰۰ °C.

در بیرون هوا ۲۰ °C است. دمای ظریف فن؟

۹۸ °C ۶۵ °C ۴۵ °C ۲۲ °C



تغییر دما

$$\left. \begin{array}{l} h_1 \\ T_1 \end{array} \right| \left. \begin{array}{l} h_2 \\ T_2 \end{array} \right|$$

$$h_1 (T_1 - T) = h_2 (T - T_2)$$

$$T = \frac{h_1 T_1 + h_2 T_2}{h_1 + h_2}$$

از این دقت می توان استفاده کرد.

$$T = \frac{10000 \times 100 + 10 \times 20}{10000 + 10}$$

سیستم های دما برای تولید انرژی دما: (یک بعدی)

$$\frac{d^2 T}{dn^2} + \frac{\dot{q}}{k} = 0$$

(۱) مشخصات کانتینر:

$$\frac{d^2 T}{dn^2} = -\frac{\dot{q}}{k} \rightarrow \frac{dT}{dn} = -\frac{\dot{q}}{k} n + C \rightarrow$$

$$T = \frac{\dot{q}}{2k} n^2 + C_1 n + C_2$$

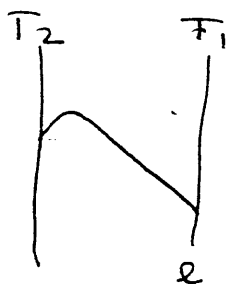
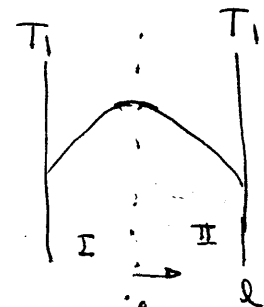
$$\begin{array}{l} n=0 \quad T=T_1 \\ n=L \quad T=T_1 \end{array} \rightarrow \begin{cases} C_1 \\ C_2 \end{cases} \text{ معین}$$

$$\begin{array}{l} n=0 \quad T=? \\ n=\pm L \quad T=T_1 \end{array} \rightarrow C=0$$

$$n=0 \quad \frac{dT}{dn} = 0$$

یعنی در مرکز دما به سمت I و II در هر دو طرف صاف می شود

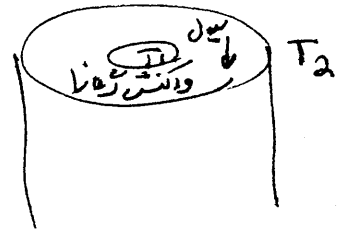
می شود همچنین در مرکز دما به سمت II



اگر $T_2 > T_1$ باشد:

حرفه دما بالاتر باشد max به سمت دما بالاتر نزدیک تر است.

ماکس $T_1 < T_2$ ؟
 ترتیب T_2



تخصیص استوانه ای :

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\dot{q}_r}{k} = 0$$

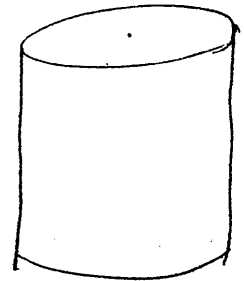
$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) = -\frac{\dot{q}_r}{k}$$

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) = -\frac{\dot{q}_r}{k} r$$

$$r \frac{\partial T}{\partial r} = -\frac{\dot{q}_r}{2k} r^2 + C_1$$

$$\frac{\partial T}{\partial r} = -\frac{\dot{q}_r}{2k} r + \frac{C_1}{r}$$

$$T = -\frac{\dot{q}_r}{4k} r^2 + C_1 \ln r + C_2$$



معین T $\left\{ \begin{array}{l} r=0 \\ \text{تدریج} \end{array} \right. \Rightarrow C_1 = 0$
 به $\ln r$ در $r=0$ به معنای $C_1 \neq 0$

$$\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\dot{q}_r}{k} = 0$$

$$\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial T}{\partial r} \right) = -\frac{\dot{q}_r}{k}$$

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial T}{\partial r} \right) = -\frac{\dot{q}_r}{k} r^2$$

$$r^2 \frac{\partial T}{\partial r} = -\frac{\dot{q}_r}{3k} r^3 + C_1$$

$$\frac{\partial T}{\partial r} = -\frac{\dot{q}_r}{3k} r + \frac{C_1}{r^2}$$

$$T = -\frac{\dot{q}_r}{6k} r^2 - \frac{C_1}{r} + C_2$$

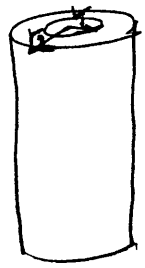
تخصیص کره ای :

معین T $\left\{ \begin{array}{l} r=0 \\ \text{که تویر} \end{array} \right. \Rightarrow C_1 = 0$

$C_1 \neq 0 \rightarrow$ که توپان

$q =$ در مقاطع مختلف ثابت است یا خیر؟

$$q_{r=r_1} \quad q_{r=r_2}$$



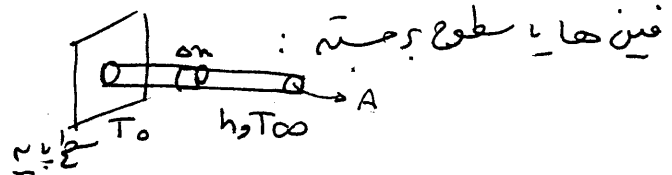
شدت انتقال حرارت ثابت Q

بنابراین با افزایش A ، q کاهش می‌یابد.

در سطح مقطع (Q) به عبارت دیگر q در سطح مقطع ثابت است. اگر که باشد $q r^2$ مقداری ثابت است.

$$Aq|_n - Aq|_{n+dn}$$

$$- h p \Delta n (T - T_{\infty}) = 0$$



$$A k \frac{dT}{dn} \Big|_{n+dn} - A k \frac{dT}{dn} \Big|_n - h p \Delta n (T - T_{\infty}) = 0$$

$$\frac{d}{dn} \left(k A \frac{dT}{dn} \right) - h p (T - T_{\infty}) = 0$$

اگر A ثابت باشد رابطه ساده می‌شود:

$$\frac{d^2 T}{dn^2} - \frac{h p}{k A} (T - T_{\infty}) = 0$$

$$T - T_{\infty} = \theta, \quad m^2 = \frac{h p}{k A}$$

معادله همگن با ضریب ثابت: اگر A ثابت نباشد باید بر مخرج

$$\frac{d^2 \theta}{dn^2} - m^2 \theta = 0$$

شرط اول $n=0, T=T_0 \Rightarrow \theta=\theta_0, (T_0 - T_{\infty})$

$$\text{شرط دوم} \left\{ \begin{array}{l} n=\infty \quad T=T_{\infty} \Rightarrow \theta=0 \\ n=L \quad -k \frac{dT}{dn} = 0 \Rightarrow \frac{d\theta}{dn} = 0 \\ n=L \quad -k \frac{d\theta}{dn} = h\theta \end{array} \right.$$

حالت دومین عایق = انتهای Fin سطح مقطع بسیار کوچک داشته باشد

$$\theta = c_1 e^{mn} + c_2 e^{-mn}$$

جواب معادله :

$$\theta = \theta_0 e^{-mn} \quad \text{در حالت اول :}$$

$$\frac{\theta}{\theta_0} = \frac{\cosh [m(L-n)]}{\cosh (mL)}$$

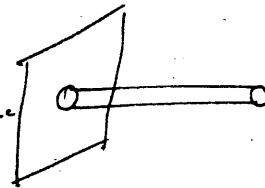
در حالت دوم :

$$\frac{\theta}{\theta_0} = \frac{\cosh m(L-n) + \frac{h}{mk} \sinh m(L-n)}{\cosh mL + \frac{h}{mk} \sinh mL} \quad \text{در حالت سوم :}$$

مطلبه انتقال حرارت از Fin :

$$q = -k \frac{dT}{dn} \Big|_{n=0}$$

$$q = -kA \frac{dT}{dn} \Big|_{n=0}$$



$$dQ = hp \, dn (T - T_\infty)$$

$$Q = \int_0^L hp (T - T_\infty) \, dn$$

برای حالت سوم اعداد فوق می‌کند

(الفاظ ساده) : چون در این وکل از ته فین نیز حرارت منتقل می‌شود.

$$\text{efficiency} \quad \eta = \frac{\text{انتقال حرارت واقعی از فین}}{\text{در دمای } T_0 \text{ باشد}} \quad \text{راندمان فین :}$$

چه موقع راندمان Fin زیر می‌شود؟ وقتی که $mL \rightarrow 0$ آنگاه $\eta \rightarrow 1$

$$m = \sqrt{\frac{hP}{KA}} \quad \text{یا } m \rightarrow 0 \quad \text{یا } L \rightarrow \infty$$

(h کوچک، یا k بزرگ و ...)

پس چرا Fin نمی‌ذاریم :

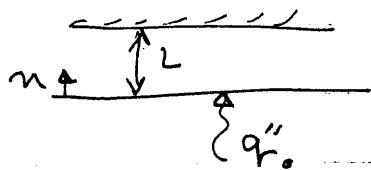
راندمان بی‌انگشتن آهسته‌تر برده یا بردن نیست. مقایسه فین با فین بزرگ‌تر.

$$\text{Performance} \quad \epsilon = \frac{\text{فراوانی انتقال حرارت از Fin واقعی}}{\text{انتقال حرارت بدون فین}} \quad \text{معیار فین}$$

انتقال حرارت رانیت به سطح
که Fin عبور ندارد می‌شود.

$$\epsilon = \eta \frac{\text{طرح جانبی } Fin}{\text{طرح مقطع } Fin}$$

- انتقال داری نامیده
- مفهوم ضرب شکل
- محاسبه عددی و طبق انتقال داری



T_i دمای پایه

(۱۸۵۵)

$$\begin{aligned} x=0 & \quad T=T_i \\ x=0 & \quad q''_0 = -k \frac{\partial T}{\partial x} \\ x=L & \quad \frac{\partial T}{\partial x} = 0 \\ \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} &= \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial x} \end{aligned}$$

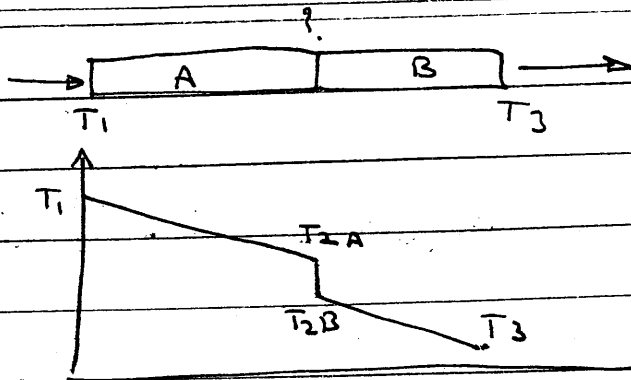
$$\begin{aligned} x=0 & \quad T=T_i \\ x=0 & \quad q''_0 = -k \frac{\partial T}{\partial x} \\ x=L & \quad \frac{\partial T}{\partial x} = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x=0 & \quad T=T_i \\ x=0 & \quad T=T_i \\ x=L & \quad \frac{\partial T}{\partial x} = 0 \\ \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{q''_0}{k} &= \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial x} \end{aligned}$$

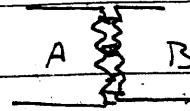
$$\begin{aligned} x=0 & \quad T=T_i \\ x=0 & \quad q''_0 = -k \frac{\partial T}{\partial x} \\ x=L & \quad \frac{\partial T}{\partial x} = 0 \\ \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{q''_0}{k} &= \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial x} \end{aligned}$$

$$q = kA \frac{\partial T}{\partial x} \quad \text{از طرف جهت محور}$$

$$q = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \quad \text{از طرف جهت محور}$$



مقاومت اتصال:



$$Q = \frac{T_1 - T_3}{\frac{L_A}{k_A A} + \frac{L_B}{k_B A} + \frac{1}{hA}}$$

$$\frac{L_A}{k_A A} + \frac{L_B}{k_B A} + \frac{1}{hA}$$

(جنس A و B و h و اندازه سطحها)
مقاومت اتصال
ها
۱/hA

مقاومت /
برای شکل فقط نوشته شود. نه اینکه جابجایی باشد.

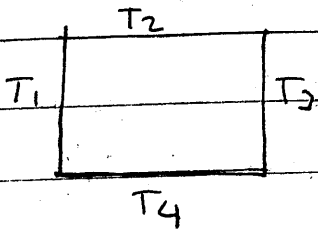
تلفظ: کابل

→ k = k (جنس ماده)
مقتضی

انتقال حرارت در سطح‌های دوطرفه:

(حالت پایدار) - کارترین:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0$$



حل: نسبت جدا سازی متغیرها.

$$Q = \frac{\Delta T}{R}$$

$$Q = UA \Delta T_{LMTD}$$

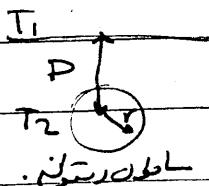
نظریه کلی:

در این مسئله مقدار Q را می‌توانیم بنویسیم

$$Q = K S \Delta T$$

مقاومت سطح

برای انتقال حرارت بین دو سطح از درم:



$$S = \frac{2\pi L}{\ln \frac{2D}{r}} \quad \text{مساحت سطح (در سطح متوسط)}$$

مساحت سطح (در سطح متوسط)

$$q = \frac{2\pi L \ln \frac{2D}{r}}{2\pi k L} (T_1 - T_2)$$

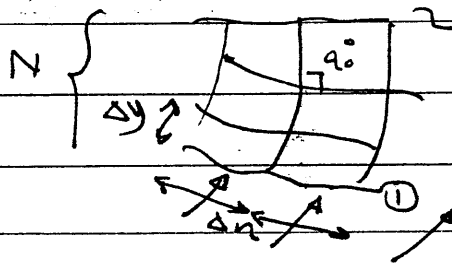
$$q = \frac{2\pi L}{\ln \frac{2D}{r}} k (T_1 - T_2)$$

جواب ها:

$$q = \frac{k \ln \left(\frac{2D}{r} \right)}{2\pi k L} (T_1 - T_2)$$

$$q = \frac{2\pi L}{k \ln \frac{2D}{r}} (T_1 - T_2)$$

روش تریس محاسبه انتقال حرارت:



تقسیم بندی: با توجه به انتقال حرارت عمود بر سطح خطوط

* خطوط از ترم عبور بر خطوط انتقال حرارت

$$Q_1 = K(\Delta x) \Delta y \frac{\Delta T}{\Delta y}$$

$$\Delta T = N \Delta T_1$$

$$\Delta x = \Delta y$$

$$Q' = M Q_1$$

$$Q' = \left(\frac{M}{N} \right) K \Delta T$$

$$Q = S k \Delta T$$

که ضریب شکل

$$S = \text{بهره طول}$$

ترجمه: در یک سطح = انتقال حرارت
تده دوم در تعیین بهره برای مطلب
در ترمیناتور

حل عددی مسائل انتقال حرارت:

روش تفاضل محدود Finite Difference

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{q}{k} = 0$$

$$i-1 \quad i-\frac{1}{2} \quad i \quad i+\frac{1}{2} \quad i+1$$

* نقطه $i+\frac{1}{2}$ نقطه مرکزی (در شبکه و در مرکز)

$$\frac{dT}{dx} \Big|_i = \frac{T_{i+1} - T_{i-1}}{2\Delta x}$$

تفاضل محدود مرکزی

$$\frac{dT}{dx} \Big|_{i+\frac{1}{2}} = \frac{T_{i+1} - T_i}{\Delta x}$$

توجه: در مشتق اول از $i+\frac{1}{2}$ استفاده نمی شود و در مشتق دوم ممکن است استفاده شود

۱۴

$$\left. \frac{dT}{dn} \right|_{i-1/2} = \frac{T_i - T_{i-1}}{\Delta n}$$

$$\frac{d^2 T}{dn^2} \Big|_i = \frac{d}{dn} \left(\frac{dT}{dn} \right) = \frac{d}{dn} \left(\left. \frac{dT}{dn} \right|_{i+1/2} - \left. \frac{dT}{dn} \right|_{i-1/2} \right)$$

حاصل
میشود

$$\frac{d^2 T}{dn^2} = \frac{T_{i+1} - 2T_i + T_{i-1}}{\Delta n^2}$$

$$\frac{d^2 T}{dn^2} + \frac{q}{k} = 0$$

$$\frac{T_{i+1} - 2T_i + T_{i-1}}{\Delta n^2} + \frac{q}{k} = 0$$

مثلاً داخل میوه

$$T_{i+1} - 2T_i + T_{i-1} + \frac{q \Delta n^2}{k} = 0$$

(*) اگر $q = 0$ باشد نقطه میانه توسط دو نقطه قبل و بعد است. (داخل صسم)

حالت دوبعدی :

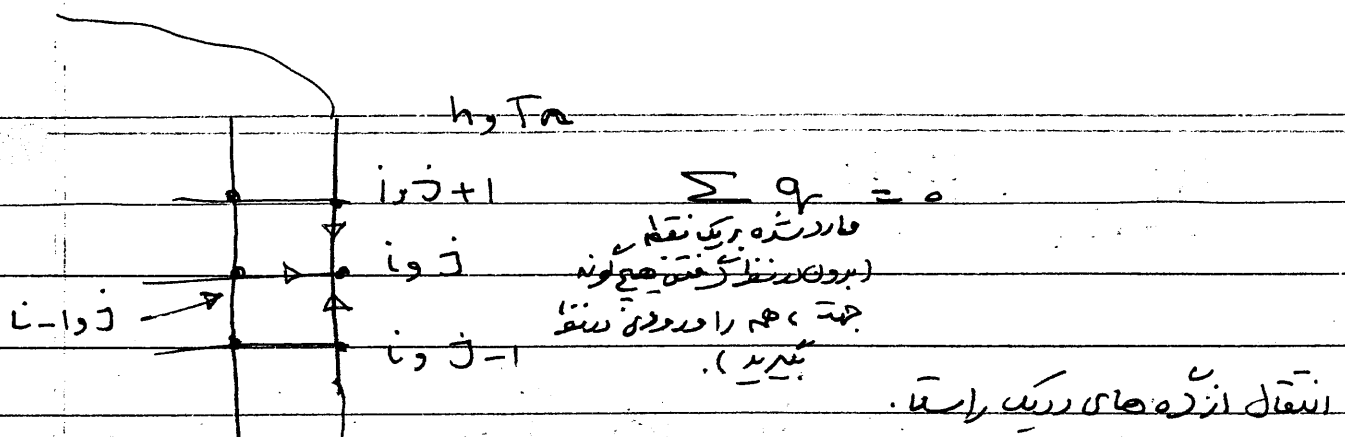
$$\frac{\partial^2 T}{\partial n^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{q}{k} = 0$$

$$\frac{T_{i+1,j} - 2T_{i,j} + T_{i-1,j}}{\Delta n^2} + \frac{T_{i,j+1} - 2T_{i,j} + T_{i,j-1}}{\Delta y^2} + \frac{q}{k} = 0$$

در $\Delta n = \Delta y$:

$$T_{i+1,j} + T_{i-1,j} + T_{i,j+1} + T_{i,j-1} - 4T_{i,j} + \frac{q}{k} \Delta n^2 = 0$$

در نقطه وسط شبیه مشروط به نقطه : $q = 0$ در اطراف است.



$$\sum q_r = k \frac{T_{i,n-1} - T_{i,n}}{\Delta n} \Delta y + k \frac{T_{i,n+1} - T_{i,n}}{\Delta y} \frac{\Delta n}{2}$$

$$+ k \frac{T_{i,n-1} - T_{i,n}}{\Delta y} \frac{\Delta n}{2} + h \Delta y (T_{\infty} - T_{i,n}) = 0$$

بقیم:
برای حالت: $T_{i,n}$
 $\frac{1}{2}$ سطح مراقب، انتقال
فارت:
 $\frac{\Delta y}{2}$

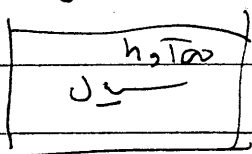
$$\sum q_r = k \frac{T_{m,n-1} - T_{m,n}}{\Delta n} \Delta y + k \frac{T_{m,n+1} - T_{m,n}}{\Delta y} \frac{\Delta n}{2} + k \frac{T_{m,n-1} - T_{m,n}}{\Delta y} \frac{\Delta n}{2} = 0$$

علاق
بند

$$T_{m,n+1} + T_{m,n-1} + 2T_{m,n} - 4T_{m,n} = 0$$

ظرفیت حرارتی متمرکز: Lumped Heat Capacity
(فرض می شود که دما در تمام نقاط جسم یکسان است)

تلفظ
(T_{\infty} دما بی نهایت)



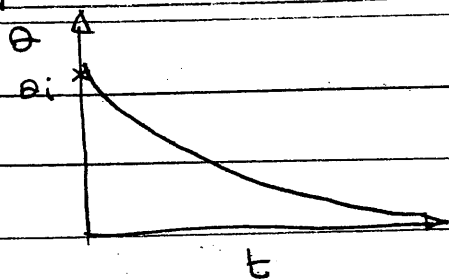
$$hA(T_{\infty} - T) = \frac{dE}{dt}$$

$$E = \rho C V T$$

$$\rho C V \frac{dT}{dt} = -hA(T - T_{\infty})$$

$$\theta = T - T_{\infty} \rightarrow$$

$$\theta = \theta_0 e^{-t/\tau}$$

$T_i - T_\infty = \theta$ 

$$t \rightarrow \infty \rightarrow \theta = 0$$

$$T = T_\infty$$

بیان مقاومت داخل م
(توالی نسبت دما در داخل)
نسبت به توان انتقال دما در سطح جایی

$$T = \frac{PCV}{hA}$$

شاید زمان

یک دیواره از دو طرف انتقال دما دارد اگر یک طرف دما T_∞ و دیگری T باشد.

$$A \rightarrow A/2$$

$$t = T \quad \theta = 0.37 \theta_i \quad (\text{مقاومت})$$

$$t = 2T \quad \theta = 0.14 \theta_i$$

$$t = 3T \quad \theta = 0.05 \theta_i$$

سال ۱۴۶۱ یک ترانزیستور با ثابت زمان ۰.۰۵ s می باشد. کدام عبارت در مورد این ترانزیستور صحیح است.

* فقط جهت ثبت تغییرات دما با پرورد کمتر از ۷۵ مناسب است.

* این ترانزیستور بعد از ۷ ثانیه دمای واقعی سیال را نشان می دهد.

* تغییرات دما ندارد.

✓ * این ترانزیستور جهت ثبت تغییرات دما با پرورد کمتر از ۷ ثانیه مناسب نمی باشد.

برای ترانزیستور می کنند T به عبارت دیگر گرم کنی داشته باشد و سریع پاسخ دهد و دمای

خودش روی دمای سیال دیکت تاثیر نمی گذارد.

حسابات عددی در مسائل : unsteady

$$\frac{\partial^2 T}{\partial n^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t}$$

از نرم ما
مشتق استغناء شد
فاصله و زمان رتبه
نگردد

صورت دوم :
$$\frac{T_{i+1}^j - 2T_i^j + T_{i-1}^j}{\Delta n^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{T_i^{j+1} - T_i^j}{\Delta t}$$

فرم صریح یا Explicit

صورت اول :
$$\frac{T_{i+1}^{j+1} - 2T_i^{j+1} + T_{i-1}^{j+1}}{(\Delta n)^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{T_i^{j+1} - T_i^j}{\Delta t}$$

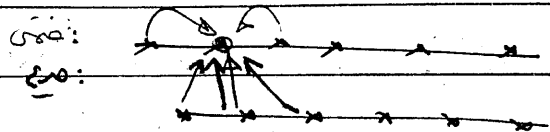
فرم ضمنی یا Implicit

معمولاً :
اطلاعات در نقطه در زمان بعد

صریح : داده در محاسبات صفت : امتیاج به معیار پایداری دارد

ضمنی : پیچیده محاسبات (حل معادله n مجهول) - معادله پایداری است : اطلاعات در نقطه زمان بعد از روی زمان قبل

برای صریح : (۱)
$$\frac{\alpha \Delta t}{\Delta n^2} \leq \frac{1}{2}$$
 در حالت یک بعدی



در حالت دوبعدی : (معیار پایداری) :
$$\frac{\alpha \Delta t}{\Delta n^2} \leq \frac{1}{4}$$

سه بعدی : " " :
$$\frac{\alpha \Delta t}{\Delta n^2} \leq \frac{1}{6}$$

انتقال حرارت جابجایی:

رابطه اساسی محاسبه ضریب انتقال حرارت جابجایی:



در فصل مشترک سیال و جسم انتقال حرارت از آن به

اول به بعد - جابجایی

در سیال جبهه به سطح - جابجایی

جابجایی = هدایت سیال جبهه به سطح جامد

$$-k \left. \frac{dT}{dy} \right|_{y=0} = h(T_w - T_\infty)$$

رابطه اساسی

$$h = \frac{-k \left. \frac{dT}{dy} \right|_{y=0}}{T_w - T_\infty}$$

شکل: کاردان دما

جای بدست آورده ها:

معادله انرژی $u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}$

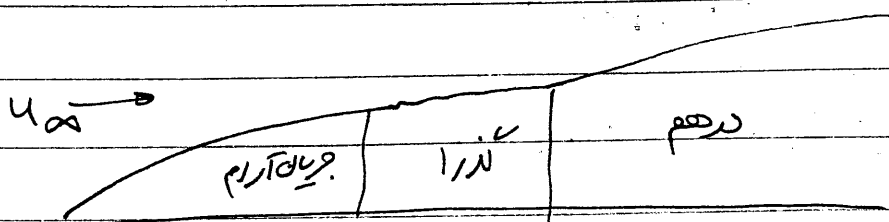
معادله پیوستگی $u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = \nu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}$

در بدست آوردن کاردان

معادله پیوستگی

حل کنیم

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



از به هم پیوستن

نقاطی که در آن نقاط

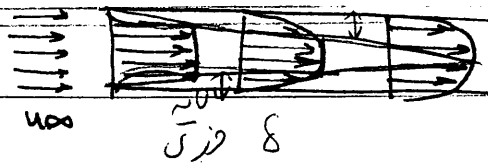
سرعت ۹۹٪ سرعت جریان

آزاد است

اهمیت لایه مرئی: لایه مرئی در داخل لایه مرئی شکل می گیرد و خارج لایه مرئی جریان آرام از بدنه جدا می شود.

نسبت نیروی اینرسی به نیروهای چسبندگی $Re = \frac{\rho u x}{\mu}$

شماره آرام بودن جریان در 5×10^5 منفی



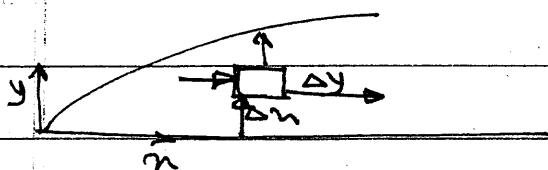
مفهوم توسعه یافتگی در لوله ها: $Re < 2300$ شرط آرام بودن
 مفهومی توسعه یافتگی در صحنه: نداریم.

اولاً قانون دانهارد
 و در صحنه متغیر است:

$$Re = \frac{\rho u D}{\mu}$$

معادله پیوستگی:

معادلات اساسی در انتقال حرارت جابجایی:



فرضیات:

1) سیال نیندیشی، غیر قابل تراکم، دارای خواص فیزیکی ثابت
 Steady state، جریان پایدار

معادله پیوستگی:

(مقدار از طریق جداره ه شود)

$$\rho u A$$

$$\rho u \Delta y|_x - \rho u \Delta y|_{x+\Delta x} + \rho v \Delta x|_y - \rho v \Delta x|_{y+\Delta y} = 0$$

تقسیم بر $\Delta x \Delta y$:

$$\frac{\partial}{\partial x} (\rho u) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho v) = 0$$

چون سیال غیر قابل

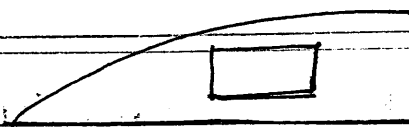
تراکم ناپذیر است:

$$\left[\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \right]$$

مفادله

اولین معادله در کدنویسی مورد استفاده قرار می گیرد.

میل دارد $\Delta x \Delta y$ به صفر



موسوم: حرکت بر داری

$$\rho u \Delta y u|_n - \rho u \Delta y u|_{n+\Delta n} +$$

$$\rho v \Delta n u|_y - \rho v \Delta n u|_{y+\Delta y} +$$

$$(-\mu \Delta n \frac{\partial u}{\partial y}|_y) - (-\mu \Delta n \frac{\partial u}{\partial y}|_{y+\Delta y}) +$$

$$+ P \Delta y|_n - P \Delta y|_{n+\Delta n} = 0$$

$$u \frac{\partial u}{\partial n} + v \frac{\partial u}{\partial y} = \nu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial n}$$

پدیده:

تویم: در معادلات ها اگر کاهش است باشد ترتیب هیچ فرق ندارد.
 (انضغاط و دقلم) ولی اگر کاهش است از رها داشته باشد چنین کار نمی کند با افزایش رها کاهش می آید.

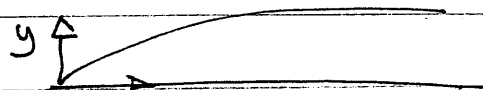
$$\frac{\partial u}{\partial n} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$$

بال بریت آوردن معادلات سرعت

راه اول: روش ترکیب متغیرها

راه دوم: روش تقویم اشتغال

$$u \frac{\partial u}{\partial n} + v \frac{\partial u}{\partial y} = \nu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial n}$$



از فشار هیدرواستاتیک صرف نظر شود: $\frac{\partial P}{\partial y} = 0$

بنویسند معادله برنولی بین هر دو نقطه جریان آزاد:

$$P + \frac{\rho u^2}{2} = \text{مقدار ثابت}$$

با ششون رشتن

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial n} + 2u \frac{\partial u}{\partial n} = 0$$

$$u \frac{\partial u}{\partial n} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial n}$$

$\frac{\partial u}{\partial y} = 0$ و $\frac{\partial u}{\partial n} = 0$ می توان از این رابطه نتیجه گرفت.

$$u \frac{\partial u}{\partial n} = 0 \quad \text{و} \quad u_{\infty} \neq u_{\infty}(n) \Rightarrow$$

$$\frac{\partial P}{\partial n} = 0$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = \nu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \quad \text{معادله}$$

$$\text{در } y=0 \Rightarrow u \frac{\partial u}{\partial x} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x}$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{\partial p}{\partial x} = c}$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = \nu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad \text{معادله}$$

فرض شود که می توان از این معادله در راستای x انتگرال گرفت:

$$\int_0^\delta (u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y}) dy = \int_0^\delta \nu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} dy$$

$$\left[\frac{d}{dx} \int_0^\delta u(u - u_\infty) dy = - \nu \frac{\partial u}{\partial y} \right]_{y=0} \quad \text{معادله انتگرال
در کنار من}$$

این معادله نشان می دهد که u باید تابعی از x و y باشد.

$$u = u(x, y)$$

برای بدست آوردن تابع u فرض می شود:

$$u = a_0 + a_1 y + a_2 y^2 + a_3 y^3 \quad \text{فرض می شود که } u \text{ به صورت این باشد}$$

(که a_0, a_1, a_2, a_3 ضرایب هستند)

$$\begin{cases} y=0 & u=0 \\ y=\delta & u=u_\infty \\ y=\delta & \frac{\partial u}{\partial y} = 0 \\ y=0 & \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = 0 \end{cases}$$

شرایط مرزی
در $y=0$ و $y=\delta$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = \nu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = \nu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x}$$

$$y=0 \quad \nu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x}$$

تابعیت u با y :

$$\frac{u}{u_{\infty}} = \frac{3}{2} \frac{y}{\delta} - \frac{1}{2} \left(\frac{y}{\delta} \right)^3 \quad (II)$$

معادله II در معادله استرالی و یک معادله دیفرانسیل مرتبه اول داریم که با شرط زیر حل می‌شود:

$$\frac{d\delta}{dn} = \dots$$

$$n=0 \quad \delta=0$$

باطل داریم :

تابعیت δ با n فقط شود :

$$\frac{\delta}{n} = \frac{4.64}{\sqrt{Re_n}} \quad (I)$$

رابطه ضریب انتقال حرارت و عدد رینولدز

صغی

حد دقیق 5 → 4.64

خلاصه: در این قسمت یک معادله استرالی، یک رابطه $\frac{u}{u_{\infty}}$ و یک معادله دیفرانسیل مرتبه اول که باطل آن ضریب انتقال حرارت و عدد رینولدز.

$$\frac{u}{u_{\infty}} = \frac{3}{2} \frac{y}{\delta} - \frac{1}{2} \left(\frac{y}{\delta} \right)^3$$

تابعیت u با y و n → I, II

از معادله I با قرار دادن n ، δ بدست می‌آید

و از معادله II با قرار دادن δ و y ، u بدست می‌آید

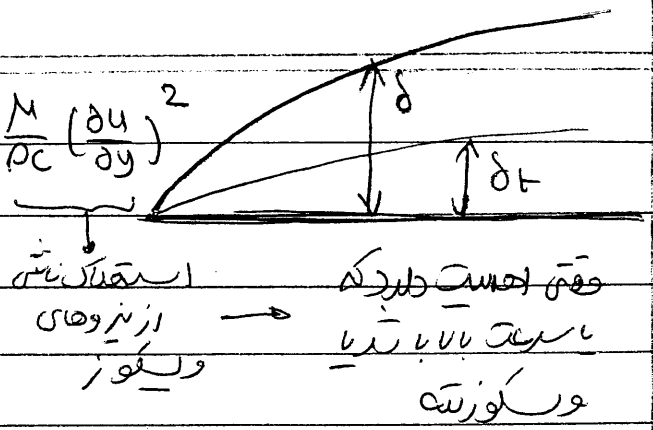
→ $u = u(n, y)$

نکته: اگر سرعت روی صفاً دوباره شود ضریب انتقال حرارت و عدد رینولدز چگونه تعیین می‌شود؟ $\frac{1}{\sqrt{2}}$ برابر می‌شود.

$$\delta \sim \frac{1}{\sqrt{\mu}}, \frac{1}{\sqrt{\nu}}, \sqrt{\mu}, \sqrt{\nu}$$

میان دینامیک و فواید سرعت بر روی با قرار دادن رابطه $\frac{\delta}{n} = \frac{4.64}{\sqrt{Re_n}}$ در معادله II، فواید سرعت بدست می‌آید.

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\mu}{\rho c} \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^2$$



یعنی همانی که بوارط اصطفاکار لایه های ریز در درجه های بیرونی که دیده شود.

همه وقایع از آن نداشتن از استقامت ویگوریه احمدی دارد:

آنالیز بزرگی: order of magnitude Analysis: هیچ ارقام شکل صوری نیستند
با این اقرها کار نداریم:

$$\alpha \frac{T}{\delta^2} \gg \frac{\mu}{\rho c} \frac{u_{\infty}^2}{\delta^2}$$

$$\frac{\nu}{\alpha} \frac{u_{\infty}^2}{c_p T} \ll 1 \quad \text{با ساده کردن داریم:}$$

$$Pr \frac{u_{\infty}^2}{c_p T} \ll 1$$

Pr: نسبت نفوذ موصلیت به نفوذ حرارت

Pr: برای گازهای ساده 2/3

Pr: برای مایعات 5/7

برای جامدات بیشتر از 10

Pr: 1 - 10 برای مایعات معمولی

10⁵ تا 10⁶ هیدروکربن ها (روغن ها)

0.1: فلزات خالص

معادله انتقال حرارت:

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}$$

$$\frac{d}{dx} \int_0^{\delta_t} (T_\infty - T) u \, dy = \alpha \left. \frac{dT}{dy} \right|_{y=0}$$

$$T = T(x, y)$$

فرض کنیم که در این رابطه:

$$T = a_0 + a_1 y + a_2 y^2 + a_3 y^3$$

$$\begin{cases} y=0 & T=T_w \\ y=\delta_t & T=T_\infty \\ y=\delta_t & \frac{\partial T}{\partial y} = 0 \\ y=0 & \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0 \end{cases}$$

چون δ_t و δ متفاوت است:

$$\alpha \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = \frac{\mu}{\rho c} \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^2$$

$$\frac{\theta}{\theta_\infty} = \frac{T - T_w}{T_\infty - T_w} = \frac{3}{2} \frac{y}{\delta_t} - \frac{1}{2} \left(\frac{y}{\delta_t} \right)^3 \quad \text{II}$$

نکته: لایه دین و ارتن از معادله انتقال حرارت که $\frac{\theta}{\theta_\infty} = a_1$ است بدست می آید.

رابطه II را در رابطه I قرار دهیم که معادله دین و ارتن بدست می آید.

با تغییر متغیر $\frac{\delta_t}{\delta} = \frac{1}{8}$ یک معادله دین و ارتن مرتبه اول به این شکل بدست می آید:

لایه دین و ارتن با حل داریم:

شرط استفاده از این معادله:

$$Pr > 0.7$$

با قرار دادن این رابطه در معادله II در حقیقت به معادله دین و ارتن بدست آورده ایم.

* فرضیات حل معادله دین و ارتن:

۱) $Pr > 0.7$

۲) دین و ارتن که توان با دین و ارتن

نوع δ_t متفاوت داریم

۳) دین و ارتن که $Pr > 0.7$ باید باشد.

* برای این فرض $Pr > 0.7$ باید باشد. $Pr = 0.7$ لایه دین و ارتن

حال پروفیل دما و سرعت را داریم . با قرار دادن در معادله اساسی :

$$h = -k \frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{y=0}$$

$$Nu_n = \frac{h_n n}{k} = 0.332 Re_n^{1/2} Pr^{1/3}$$

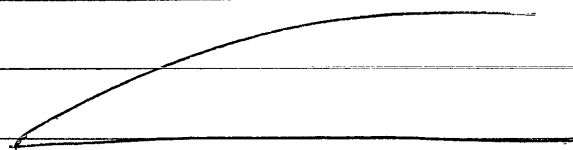
حفظ شود.

رابطه انتقال حرارت کنوکسیون به روی صفحه در جریان آرام.

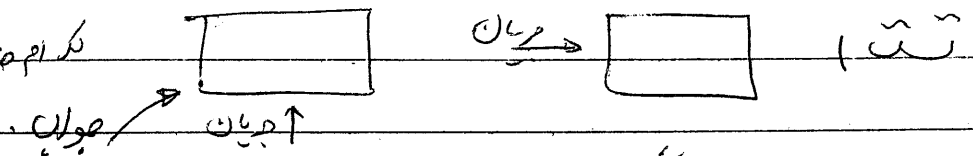
$$\Rightarrow h_n \sim n^{-1/2}$$

با افزایش n ، مقدار h کاهش می یابد

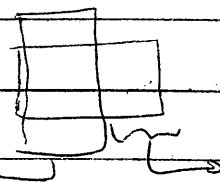
h پتانسیل لازم برای رابطه بین دمای دیواره و دما با افزایش فاصله دیواره و دما و دیواره کمتر ، h کاهش می یابد.



تکامل حالت انتقال حرارت به چه شکلی است؟



روشنی را روی هم بیندازیم :



در این صفحه h بزرگتر به نظر می آید

در این قسمت صفت دوم h در این مقدار کم

(در سطح بزرگتر h بزرگ داریم)

در این محدوده مقدار h رو به برابر می آید

جواب بیشتر است .

$$h_n \sim n^{-1/2}$$

$$\sum h_n \sim n^a$$

$$\Rightarrow \overline{h}_n = k =$$

$$\overline{h}_{n=L} = \frac{1}{1+a} h_{n=L}$$

مقدار
شمار

$$\overline{h}_{n=L} = \frac{\int_0^L h_n dn}{\int_0^L dn}$$

$$\sum h_n \sim n^{-1/2}$$

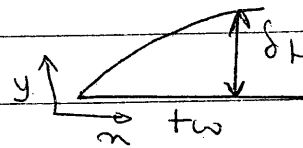
$$\Rightarrow \overline{h}_{n=L} = 2 h_{n=L}$$

$$\overline{Nu}_{n=L} = 2 Nu_{n=L}$$

رابطه میان h و Nu برای هم از این استفاده کرد

$$Bi = \frac{h s}{k} \quad \text{طول مشخص} \quad Nu = \frac{h l}{k} \quad \text{طول مشخص}$$

(*) و در Nu و k از l و Bi از s استفاده کردیم. و در Bi از s استفاده کردیم. تفاوت دارند.



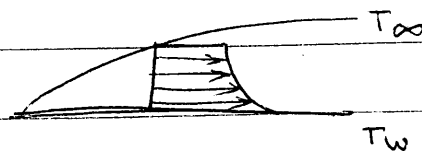
(۱۲) د

$$y=0 \quad T=T_{\infty} \quad (2)$$

$$y=0 \quad T=0 \quad (1)$$

$$y=0 \quad \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0 \quad (4)$$

$$y=0 \quad \frac{\partial T}{\partial y} = 0 \quad (3)$$



تفاوت

$$h_m = C n^{-1/4} \quad (n \text{ عدد})$$

$$\overline{Nu}_{m=L} \stackrel{?}{=} Nu_{m=L}$$

$$P = 4/3$$

ال ۱۷۹

$$20^\circ\text{C} \rightarrow$$

$$120$$

$$20^\circ\text{C} \rightarrow$$

انتقال حرارت از پاشنه است یا نه؟

از انتقال حرارت کونویکشن آزاد و صورت گرفته

اگر انتقال حرارت اجباری باشد سیستم تعادل دارد و هیچ فرقی ندارد.

ولی چون همواره در کونویکشن آزاد، انتقال حرارت از پاشنه بیشتر است.

↑ چون همواره کونویکشن آزاد مهم داریم

اگر صفحه دکان سرد شدن باشد برعکس.

$$Nu_m = 0.332 Re_m^{1/2} Pr^{1/3}$$

صفحه کونویکشن اجباری، T_w ثابت.

$$Nu_m = 0.453 Re_m^{1/2} Pr^{1/3} \quad \text{اثر هتینگ ثابت. صفحه تود}$$

یکه از آنالوژی های سیاحت حرارت: (شیب سازی: آنالوژی).

آنالوژی Reynold's Colburn :

حدود در این قسمت ارتباط ضریب اصطکاک به ضریب انتقال حرارت (h)

$$\tau_w = C_{f_n} \frac{\rho u_\infty^2}{2} \quad \text{①} \quad \text{ضریب درگ}$$

(ضریب اصطکاک روی صفحه)

$$\tau_w = \mu \left. \frac{\partial u}{\partial y} \right|_{y=0} \quad \text{I}$$

$$\frac{u}{u_{\infty}} = \frac{3}{2} \frac{y}{\delta} - \frac{1}{2} \left(\frac{y}{\delta} \right)^3 \quad \text{II}$$

$$\text{I, II} \Rightarrow \tau_{\text{w}} = \frac{3}{2} \mu \frac{u_{\infty}}{\delta} \quad (2)$$

$$(1) \text{ و } (2) \Rightarrow \boxed{\frac{C_{f,x}}{2} = 0.332 Re_n^{-1/2}} \quad \text{از شبکه می‌آید}$$

$$Nu_n = 0.332 Re_n^{1/2} Pr^{1/3}$$

$$Nu_n = 0.332 Re_n^{-1/2} Pr^{-2/3}$$

از شبکه
دارد

(St)

$$\boxed{St = \frac{h}{\rho C u_{\infty}}}$$

$$\boxed{St Pr^{2/3} = 0.332 Re_n^{-1/2}}$$

یک مقدار افتد و بعد بین دو رابطه می‌گذارد:

علت: چون برای حل از روش معادله اشتباه استفاده شده اگر از روش دقیق استفاده
کنیم این افتد و بیهوده نمی‌شود.

$$\boxed{St Pr^{2/3} = C_{f,x} / 2}$$

یعنی با داشتن $C_{f,x}$ می‌توان h را تعیین کرد و برعکس

کاربرد: ۱) جریان آرام و در هم در صفحات
۲) جریان در هم در لوله
نشان می‌دهند.

کاربرد ندارد: در جریان آرام در لوله.

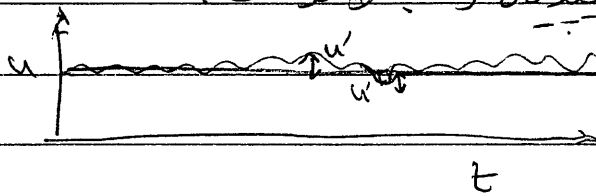
در مورد جریان درهم :

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

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = \nu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}$$

این روابط برای
جریان آرام بر روی
جریان درهم هم صادق
است.

ول این روابط در جریان درهم همیشه شوند بخاطر نوسانات



نوع جریان نوسانی
Cw steady state

با قرار دادن $u = \bar{u} + u'$ در معادله روابط همیشه درست است.

در بیان درهم از آنالوژی رینولدز کاربرد استفاده کنیم چون در مورد C_f رابطه

$$C_{f2} = 0.0592 Re^{-1/5} \quad 5 \times 10^5 < Re < 10^7$$

شکل پروفایل سرعت در بیان درهم روی صفحه:

$$\frac{u}{u_\infty} = \left(\frac{y}{\delta}\right)^{1/7}$$

موانع سرعت (۸۲) این رابطه پرسیده شده.

$$\delta \sim Re^{-1/5}$$

جریان درهم
روی صفحه

انتقال حرارت در داخل لوله :

* اگر جریان توسعه یافته حرارت باشد چه جریان آرام و چه در هم ه بسطون لوله مقدار ثابت است.

شرط توسعه یافته حرارتی : $\theta = \frac{T - T_w}{T_m - T_w}$

لوله ها $\leftarrow$ دمای متوسط

$$\theta = \theta(r, x)$$

جریان توسعه یافته حرارتی $\rightarrow \frac{\partial \theta}{\partial x} = 0$ اگر

گویند

$$\theta = \theta(r)$$

(۸۳، ۸۴)

T_m دمای متوسط

سطح مقطع

$$T = T(r, x)$$

۸۳، ۸۴) شرط توسعه یافته حرارتی برای دمای سطح لوله و دمای مایع در لوله ثابت و فشار حرارتی ثابت است ؟

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{T_w - T}{T_b - T} \right) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{T_w - T}{T_w - T_b} \right) = 0 \quad (2) \quad \checkmark \quad \frac{\partial T_b}{\partial x} = 0$$

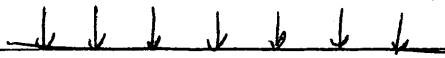
(۳) به ازای دمای ثابت $\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{T_w - T}{T_w - T_b} \right) = 0$

شرط ثابت $\frac{\partial T}{\partial x} = 0$

(۴) برای دمای ثابت $\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{T_w - T}{T_b - T} \right) = 0$

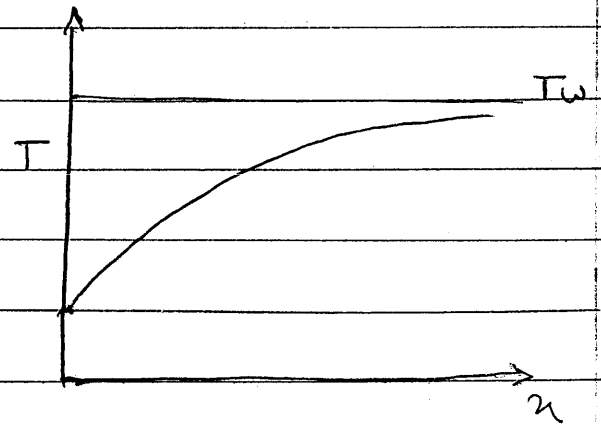
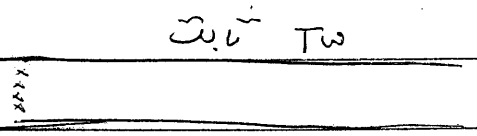
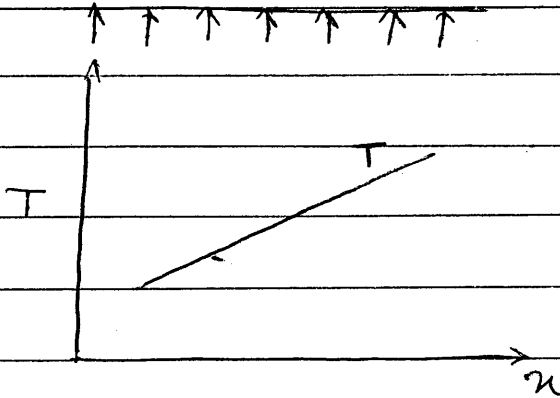
شرط ثابت $\frac{\partial T}{\partial x} = 0$

انتقال حرارت در داخل لوله ها بصورت آرام: (قانونی و کامل توسعه یافته)
 q_w ثابت



q_w ثابت

T_w ثابت



معادله انرژی: T_w ثابت، تغییر فاز

q_w ثابت: یک لایه حرارتی که یک مقدار معین انرژی را به انرژی حرارتی تبدیل می کند

همچون سرعت انتقال

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right)$$

معادله انرژی که در مختصات استوانه ای

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}$$

نوشته شده

$$u \frac{\partial T}{\partial x} = \alpha \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right)$$

معادله انرژی در داخل لوله
 جریان کامل توسعه یافته

از موازنه انرژی در داخل لوله:
 (موازنه انرژی در سطح)

①

۱) حرارت در جهت شعاعی

۲) انتقال در جهت محوری: (حرارت در جهت محوری در لوله و صرف انتقال نیست)

$$Pe = Re \cdot Pr$$

Pe : عدد پکلت

$$= \frac{\rho u D}{\mu} \cdot \frac{\mu / \rho c}{k} = \frac{\rho u D c}{k}$$

نسبت انتقال انرژی به هدایت

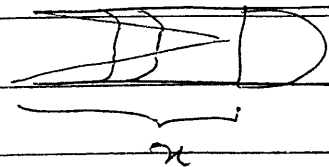
اگر Pe بزرگ باشد می توان از هدایت در جهت محوری صرف نظر کنیم.

جریان توسعه یافته $u \neq u(r)$

در سیالات : جریان توسعه یافته $\frac{x_m}{D} = 0.03 Re$: جریان آرام :

قطر لوله : D

مستقیم



جریان آرام در لوله

$$\frac{x_t}{D} = 0.03 Re Pr$$

در لوله :

توسعه یافته طرانه

$$\frac{x_t}{x_m} = Pr$$

$$u \frac{\partial T}{\partial n} = \alpha \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \frac{\partial T}{\partial r})$$

معادله انتقال حرارت

$$r=R \quad q_w = k \left. \frac{dT}{dr} \right|_{r=R}$$

* چون انتقال حرارت مخالف جهت جریان است

$$r=0 \quad \frac{dT}{dr} = 0$$

بجای تقارن

$$\frac{\partial T}{\partial n} = \frac{\partial T_w}{\partial n} = \frac{\partial T_m}{\partial n} = \text{Constant}$$

اگر q_w ثابت باشد : متوسط

$$q_w = h (T_w - T_b)$$

معادله

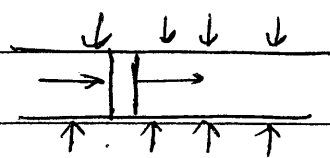
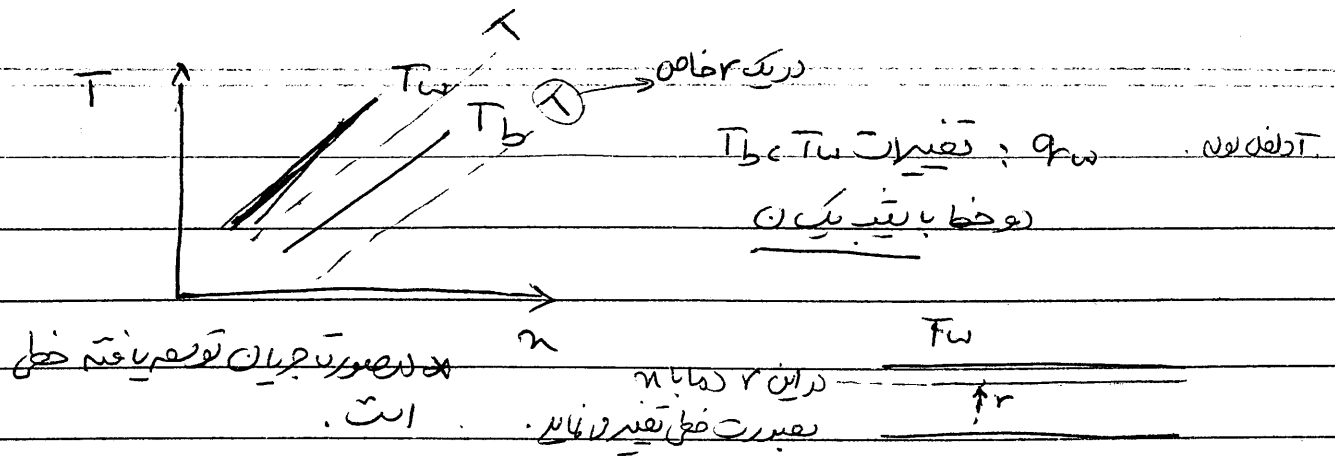
$$\frac{dq_w}{dn} = 0 = \frac{\partial T_w}{\partial n} - \frac{\partial T_b}{\partial n}$$

$$\Rightarrow \frac{\partial T_w}{\partial n} = \frac{\partial T_b}{\partial n} \quad (1)$$

$$\frac{dh}{dn} = \text{ثابت}$$

$$\theta = \frac{T_w - T}{T_w - T_b} ; T_w - T = \theta (T_w - T_b)$$

$$\frac{\partial T_w}{\partial n} - \frac{\partial T}{\partial n} = \theta \left(\frac{\partial T_w}{\partial n} - \frac{\partial T_b}{\partial n} \right) \Rightarrow \frac{\partial T_w}{\partial n} = \frac{\partial T}{\partial n} \quad (2)$$



برای نشان دادن یکنواختی مقدار شتاب

هوزن:

$$\rho u_m c T_b|_n - \rho u_m c T_b|_{n+\Delta n} = q_w (\rho \Delta n)$$

$$\rho u_m c \frac{dT_b}{dn} = q_w \rho \Rightarrow \frac{dT_b}{dn} = \frac{q_w}{u_m c}$$

$$u \frac{\partial T}{\partial n} = \alpha \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right)$$

شرایط مرزی

که u پروفیل سرعت قرار دارد:

$$u = 2u_m (1 - (r/R)^2)$$

و (نسبت بر حسب هت).

$$Nu = \frac{hD}{k} = 4.36$$

در جریان آرام داخل لوله - (جریان توسعه یافته حرارتی و هیدرولیک) Nu مقدار ثابت و

$$h = h(D \text{ و } k)$$

حالت ۲ $T_w = \text{ثابت}$

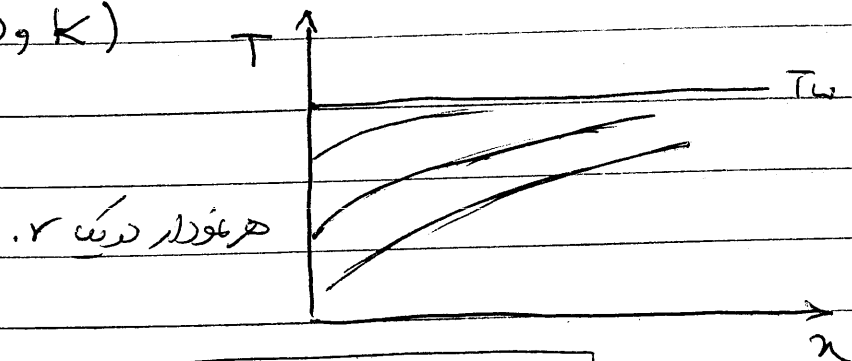
$$u \times \frac{\partial T}{\partial r} = \alpha \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) \quad \text{معادله حرارتی است:}$$

$$\begin{cases} r=R & T=T_w \\ r=0 & \frac{\partial T}{\partial r} = 0 \end{cases} \quad \begin{array}{l} \frac{\partial T}{\partial r} \text{ در لبه سطح ثابت نیست} \\ \text{از روش تکراری استفاده می‌کنند} \\ \text{(معمولاً برای هم به خط و وقت کم می‌برد)} \end{array}$$

$$\boxed{Nu = \frac{hD}{K} = 3.66}$$

در حالت T_w ثابت.

$$h = h(D, K)$$

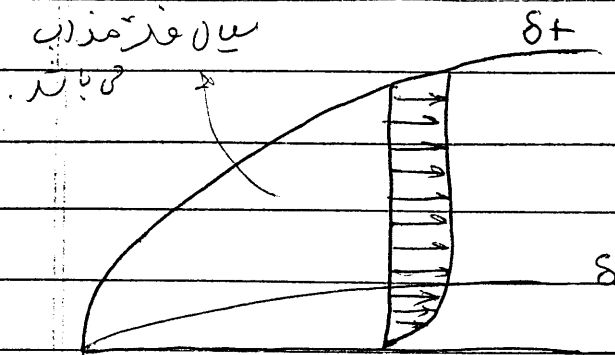


$$\boxed{T_b = \frac{\int_0^R \rho u c T 2\pi r dr}{\int_0^R \rho u c 2\pi r dr}}$$

این رابطه حفظ شود: $T - T_c = \frac{1}{2} \frac{\partial T}{\partial r} \frac{u_0 r^2}{4} \left(\left(\frac{r}{r_0} \right)^2 - \frac{1}{4} \left(\frac{r}{r_0} \right)^4 \right)$

در q_w ثابت

انتقال حرارت فزات مذاب :



چنانچه آرام فز مذاب از رول صغی :
 $Pr \sim 0.01$

ساده سازی :

$$\frac{d}{dn} \int_0^{\delta+} (T_w - T) u = \alpha \left. \frac{dT}{dy} \right|_{y=0}$$

$$\frac{u}{u_\infty} = \frac{3}{2} \frac{y}{\delta} - \frac{1}{2} \left(\frac{y}{\delta} \right)^3$$

$$\frac{d}{dn} \left(\int_0^{\delta} + \int_{\delta}^{\delta+} u_\infty \right) = \dots$$

حالت ساده سازی : $\left(\frac{u}{u_\infty} \right)$ را ثابت فرض کنیم (چون مقدار نسبت کمی است).

$$\frac{d}{dn} \int_0^{\delta+} (T_\infty - T) u_\infty = \alpha \left. \frac{dT}{dy} \right|_{y=0} \quad \text{II}$$

* روش حل شدن باقی :
 معادله I را در II وارده کنیم :

$$\frac{\theta}{\theta_\infty} = \frac{3}{2} \left(\frac{y}{\delta+} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{y}{\delta+} \right)^3 \quad \text{I}$$

* در الگوریتم هم این روش مفید می باشد (در رنسر و پر) و می توانیم نسبت را در وقت

تکثیر هم پیروی از انتفاقی می افتد.

مقدار δ به دست می آید :

$$Nu_n = 0.53 Pe^{1/2}$$

$$Pe = Re \cdot Pr$$

حفظ شوند :

از این معادله به دست می آید :

$$\frac{\delta}{\delta+} = 1.64 \sqrt{Pr}$$

$$Pr \sim 0.01 \Rightarrow \frac{\delta}{\delta+} = 0.16$$

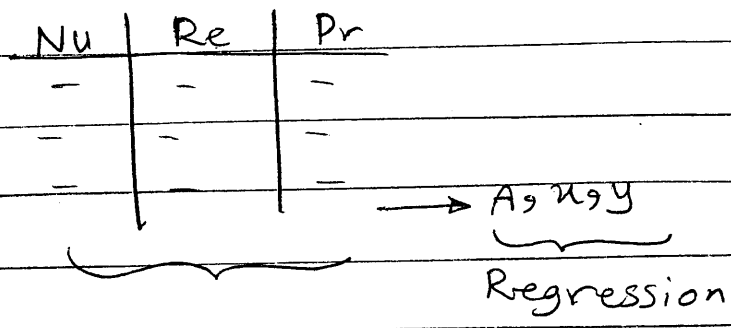
(در وقت دشمن)

$$\frac{\delta}{x} = \frac{4.64}{\sqrt{Re_n}}$$

روابط تجربی در انتقال حرارت جابجایی :

$$Nu = A Re^n Pr^y$$

کنویجیون ابعادی



انتقال حرارت در جریان در هم (توسعه یافته) داخل لوله :

Dittus-Boelter :

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^n$$

$n=0.4$ برای حرارت دادن
 $n=0.3$ برای سرد کردن

توال : از سرعت جریان یا طول لوله یا ... ، Nu چگونه تغییر می کند

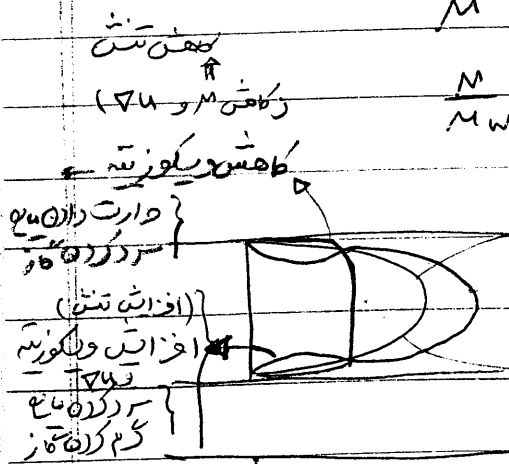
انتقال حرارت جریان در هم (توسعه یافته) داخل لوله ،
(اثر یکنواختی و یکنوزیتم پیدا)

Sieder & Tate : $Nu = 0.027 Re^{0.8} Pr^{0.3} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14}$

μ : توده جریان ، (میانگین بشتی است) $\mu > \mu_w$

$$\frac{\mu}{\mu_w} > 1$$

* از این رابطه معمولاً در سیالات بلی می استفاده می گردد .



* در سیالات همواره موثر یکنوزیتم را ثابت فرض می کنیم

در درجه هم هیچ وقت معادله صاف نیست.



فقط در بینهایت فقط

plug.

انتقال حرارت در حالتیکه جریان توسعه یافته نباشد: (آرام در هم)

$$\frac{n}{D} = 0.03 Re$$

$$Nu = Nu(Re, Pr, \frac{n}{D})$$

$$\frac{n_t}{D} = 0.03 Re Pr$$

$$Nu = Nu(Re, Pr, GZ)$$

بیانگر اثرات توسعه نیافتگی

$$GZ = \frac{Re \cdot Pr}{\frac{n}{D}}$$

این رعایت حتماً شود (دفعه)

جریان آرام در طول دمای دوار شده است جریان توسعه نیافته:

$$Nu = 3.66 + 0.0668 (Re Pr \frac{n}{D})$$

$$1 + 0.04 (Re Pr \frac{n}{D})^{2/3}$$

$$n \rightarrow \infty \rightarrow \text{توسعه یافته} \rightarrow Nu = 3.66$$

* عدد Nu در جریان توسعه نیافته بزرگتر از جایی عدد Nu در جریان توسعه یافته است.

* اگر $n \rightarrow \infty$ ، Nu توسعه نیافته $\leftarrow Nu$ توسعه یافته.

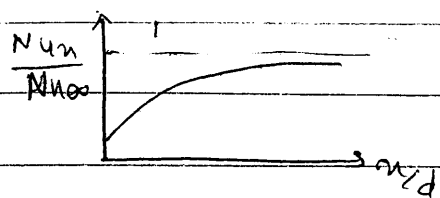
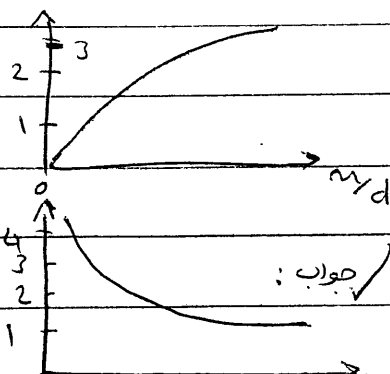
* توسعه نیافتگی بران انتقال حرارت بستگی است.

جریان رهم توسعه نیافته داخل لوله:

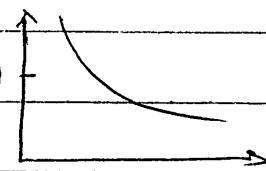
$$Nu = 0.036 Re^{0.8} Pr^{1/3} \left(\frac{d}{L}\right) \quad 40 \left(\frac{L}{d}\right) (450)$$

* این رابطه در طولهای کم صادق است و گرنه در طول زیاد $Nu = 2$ در نظر می آید.

جریان آرام در
در حالت
آرام Nu در حالت
از بودی Nu_{∞}
بگیریم و Nu_{∞}
و بویان صاف توسعه



تت



جواب:

تشریح: $St. Pr^{2/3} = \frac{Cf_x}{2}$ ، در بیان آرام روی و در صفحات و در هم درون لوله

$$St. Pr^{2/3} = \frac{f}{8}$$

لایه مرزی (۱۵۵)

تشریح: بویای تغییرات، ضریب انتقال حرارت h و Re برابر شود:

$$h \sim f$$

$$f \sim \Delta P$$

* $h \sim \Delta P$: در تغییر روی تغییرات، متناسب با h به طور مستقیم

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.3}$$

برای سرعت:

این رابطه را در تقابل بگیرد.

کدامیک از این شروط جایی در بیان آرام روی صفحه که هم شرط صحت نیست:

$$y = \delta_t$$

$$T = T_{\infty}$$

$$y = \delta_t$$

$$\frac{\partial T}{\partial y} = 0$$

$$\frac{y = \delta_t}{y = \delta_t}$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0 \quad \checkmark$$

$$y = 0$$

$$T = T_w$$

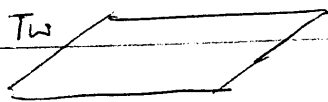
نتیجه

آب در لوله ای با $Re = 15000$ حرارت می یابد اگر دبی آب دو برابر گردد، ضریب انتقال حرارت در هم عددی ضرب می گردد.
 به سرعت و دبی Re دو برابر

$$Nu \sim Re^{0.8} \quad 2 \quad 1.74 \quad 0.8 \quad 0.5$$

نتیجه

یک جریان کاملاً توسعه یافته بین دو صفحه موازی:



T_w
 u_{∞}

۱. دمای سرعت و دبی

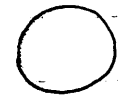
۲. توزیع سرعت و دما

۳. تغییر دما و دبی

۴. توزیع سرعت و دما

۵. توزیع دما و دبی

انتقال حرارت در کانال ها



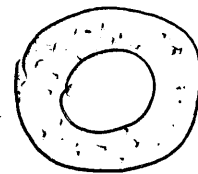
$$Nu = \dots$$

$$Re = \frac{\rho u D}{\mu}$$

$$D_{eq} = 4 r_H = 4 \frac{\text{مساحت عبور صاف}}{\text{محیط آن توده}}$$

$$D_{eq} = \frac{4 \frac{1}{4} (D_1^2 - D_2^2)}{\pi D_1 + \pi D_2}$$

$$D_{eq} = D_1 - D_2$$



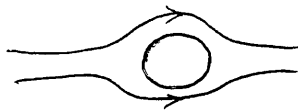
مثال :

انتقال حرارت از روی اجسام : (کره و استوانه) :

مسئله انتقال حرارت از روی صفحه به تقصید گفته شد

۱) انتقال حرارت از روی استوانه :

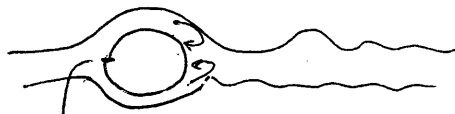
Re ضریب



Creeping Flow

(همچون آشفته نداریم)

Re ضریب

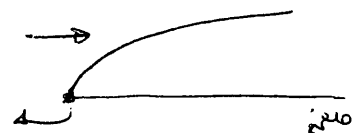


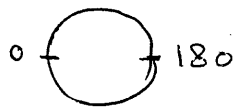
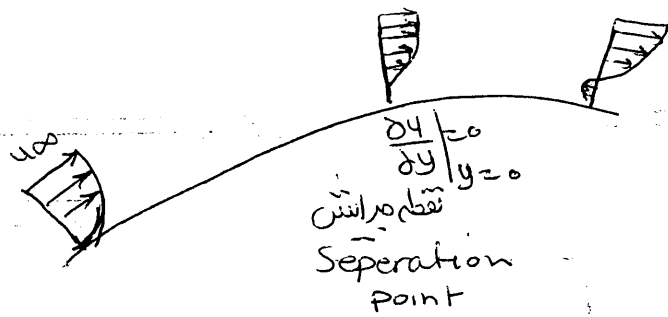
Stagnation point

Stagnation point : اولین نقطه برخورد سیال با جسم . معمولاً بیشترین مقدار نقطه سکون

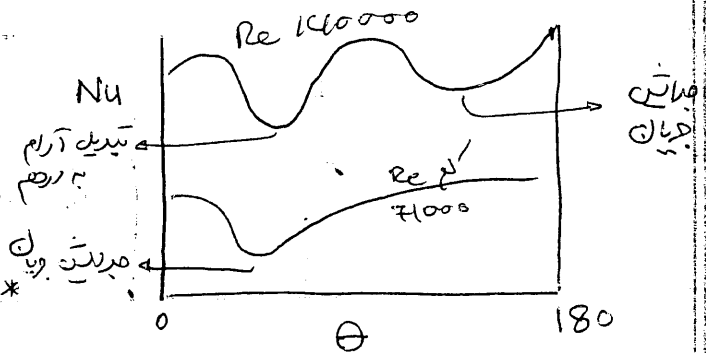
Stagnation point است چون لایه داری هنوز تشکیل نشده

Stagnation point





* این نمودارهای این مقادیر هیچ کاری ندارند:



*** وقتی یک min داریم نقطه min
نیاید میرانش جریان.

وقتی 2 min داریم:

(**) min بود تبدیل جریان آرام به

دوهم و min دوم میرانش

ی باشد

(max) جریان کاملاً دوهم می شود

$$Nu = C Re^n Pr^{\frac{1}{3}}$$

Con از روی جدول

* بهترین h منقار سکون مگر Re ها ضعیف است

جریان دوهم ماهیت انتقالی دارد و بر این باسند آمار بیان می گردد.

نکته:

$$Nu = 0.332 Re^{\frac{1}{2}} Pr^{\frac{1}{3}}$$

$$\frac{h x}{k} = 0.332 \frac{(Pr u)^{\frac{1}{2}}}{\sqrt{v}}$$

$$h \sim u^{-\frac{1}{2}}$$

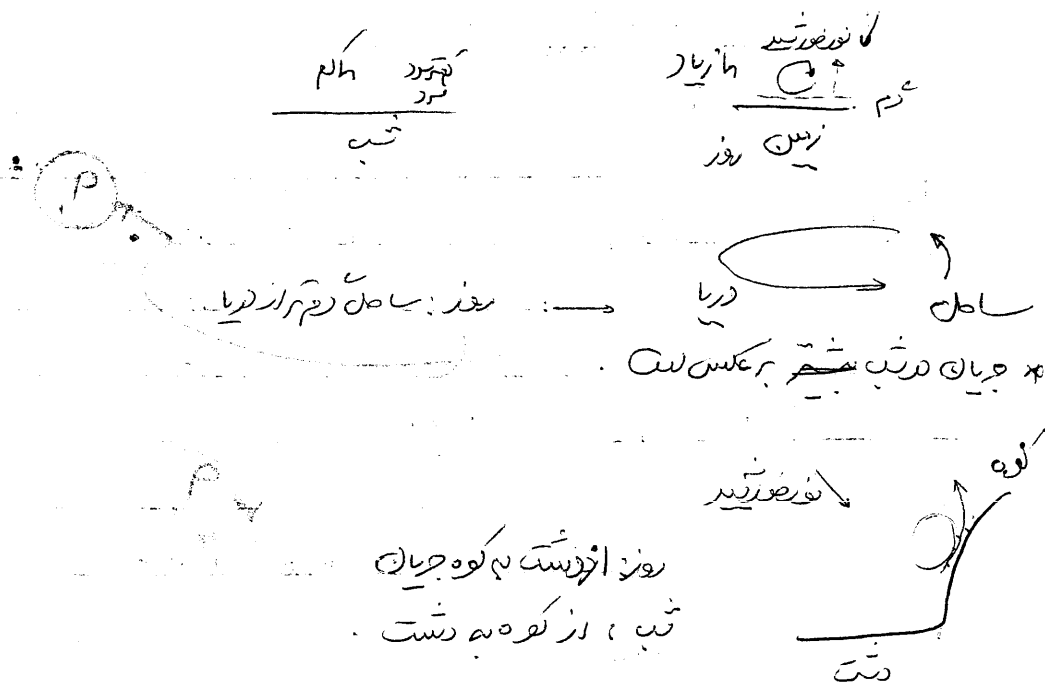
$$h \sim \frac{1}{\sqrt{u}}$$

$$u \rightarrow \infty \rightarrow h \rightarrow \infty$$

(*) معادلات برای دمای سطح و دمای محیط است چنانچه $u = 0$

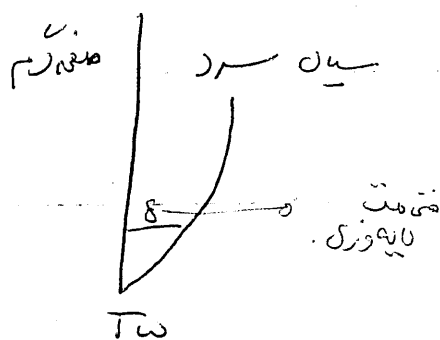
جایابی آزاد:

سال ۷۷، ۷۸ وضعیت h بدای که زمین در طول شب و روز چگونه است (در هوای آرام و صاف).
 اختلاف رانیه عمل حرکت در روز زمین (هم از هوای اطراف (چون که از حالت شیب ندارند)
 را عامل گرم شده گوییم در زمین).

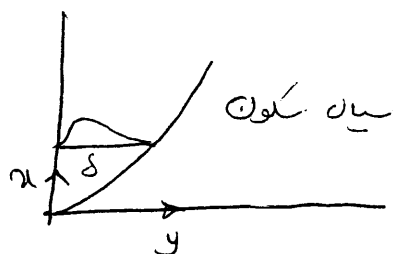


* اختلاف رانیه $\rightarrow$ جایابی آزاد.

رانیه هوای نزدیک به سطح بیشتر از میان
 دورتر جریان به سمت بالا (۲۸)



جایابی آزاد: $\delta = \delta +$
 وقتی به لایه دبی و دایره = وقتی به لایه دبی و دایره
 زیرا که هوا حرکت در سطح زمین و تغییر
 تفاوت معادله.



$$y = 0 \quad u = 0$$

$$y = \delta \quad u = 0$$

* فقط در این لایه نزدیک به سطح حرکت داریم.

معادلات مربوط به این صفت :

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

نیروی قار: بخاطر صفت افقی و: شیب جانبی.

معادله انرژی:

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}$$

معادلات زیرین به همراه معادله حفظ کردن ندارند.

$$\frac{\partial p}{\partial x} = -\rho_{\infty} g$$

فشار در هر امتداد افقی در تقارن
بهره صفت متلاصقه از جهت یک
صفت متلاصق. به این دلیل که $\frac{\partial p}{\partial x}$ را به شکل $\rho_{\infty} g$ در نظر میگیریم

$$\beta = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right) \rho$$

$\partial V \approx \Delta V$
 $\partial T \approx \Delta T$

این معادله را به شکل تقریبی می توان نوشت:

$$\beta \approx \frac{1}{V_{\infty}} \frac{V - V_{\infty}}{T - T_{\infty}}$$

$$\rho \approx \frac{1}{V}$$

$$\beta = \frac{\rho_{\infty} - \rho}{\rho (T - T_{\infty})} = - \frac{\rho_{\infty} - \rho}{\rho (T_{\infty} - T)}$$

شکل معادله ها:

$$\left\{ \begin{array}{l} u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = g \beta (T - T_{\infty}) + \mu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \\ u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \end{array} \right.$$

حفظ انرژی
تقریبی
در حقیقت که دستگاه معادلات
دقیق نیست.

ماتریس روابط

صفت روی صفحه: (کنویع و عبارات):

معادلات $\leftarrow$ پروفایل سرعت تعیین شد $\leftarrow$ پروفیل دما $\leftarrow h$

کنویع و آزاد: معادلات $\leftarrow$ $\leftarrow$ $\leftarrow$ پروفیل سرعت و دما
شکل
کوچک معادلات
توانا تعیین و شونر

روش حل مسئله: روش استرالی و کاکرمن است. * ماکارن با حل ندرلر.

$$T = a_0 + a_1 y + a_2 y^2 + a_3 y^3 \quad \text{در ابزاری}$$

$$T = a_0 + a_1 y + a_2 y^2 + \cancel{a_3 y^3} \quad \text{در آزاد}$$

صفت دوم ۲ رفتن: تحت رابطه بین آورده برید شکلات

$$\begin{cases} y=0 & T=T_w \\ y=\delta & T=T_\infty \\ y=\delta & \frac{\partial T}{\partial y} = 0 \end{cases} \quad \text{شرط} \quad \rightarrow \quad \frac{T-T_w}{T_\infty-T_w} = \left(1 - \frac{y}{\delta}\right)^2$$

بای سرعت دوم ۳ منتظر می‌شوم:

$$u = a_0 + a_1 y + a_2 y^2 + a_3 y^3$$

$$y=0 \quad u=0$$

$$y=\delta \quad u=0$$

$$y=\delta \quad \frac{\partial u}{\partial y} = 0$$

$$y=0 \quad \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = \frac{-g\beta(T-T_\infty)}{\nu} \quad \begin{matrix} \text{نیزه} \\ \text{معادله} \end{matrix}$$

* پروفیل سرعت به دما بستگی دارد.

$$\frac{u}{u_n} = \frac{y}{\delta} \left(1 - \frac{y}{\delta}\right)^2$$

که با سرعت u_n دارد.

$$\boxed{\delta \sim x^{1/4}} \rightarrow \text{از حل معادلات استرالی و کاکرمن}$$

$$Nu_n = 0.508 Pr^{1/2} (0.952 + Pr)^{-1/4} Gr_n^{1/4}$$

$$Gr_n = \frac{g \beta (T_w - T_\infty) n^3}{\nu^2}$$

عدد گرافت نسبت نیروی شناوری به نیروی چسبندگی. کاربرد: عدد Re است (در پمپهای آزاد).

در پمپهای آزاد: $Nu_n = Nu(Gr, Pr)$

Primary mode $\leftrightarrow$ Secondary mode

$$h \sim n^{-1/2}$$

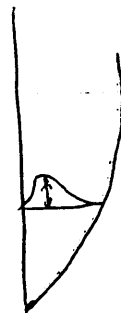
$$h \sim n^{-1/4}$$

$$\bar{h}_{n=L} =$$

$$h_n \sim n^a \Rightarrow \bar{h}_{n=L} = \frac{1}{1+a} h_{n=L}$$

$$\bar{h}_{n=L} = \frac{1}{1-1/4} h_{n=L}$$

$$\boxed{\bar{h}_{n=L} = \frac{4}{3} h_{n=L}}$$



$$\max_{x,y} : y = \frac{\delta}{\omega}$$

$$20^{\circ}\text{C} \xrightarrow{\text{درجه}} 40^{\circ}\text{C}$$

$$293 \xrightarrow{\text{درجه}} 313 \text{ K}$$

$$\frac{B_2}{B_1} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$= \frac{293}{313}$$

که هشت می باید علی مقدار آن بیشتر از نصف مقدار اولیه است.

در فواصل سرعت

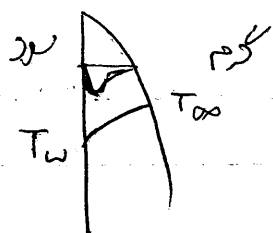


گرم

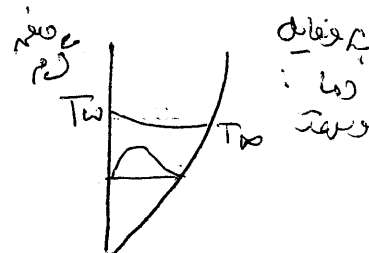
باز هم max سرعت

در $\frac{\delta}{3}$

از صفحه در برود:



T_w T_{∞}



در فواصل
درما:
در سرعت

سوال: یک صفحه را در جریان آزاد چگونه بهر نسبت قرار دهیم؟

روابط ساده شده کنوکسیون آزاد از هوا

(جدول ۲-۷ کتاب)

صفحه عمودی

صفحه افقی

$$h = 1.42 \left(\frac{\Delta T}{L} \right)^{1/4}$$

$$h = 1.32 \left(\frac{\Delta T}{L} \right)^{1/4}$$

در معادله ΔT درجه

$$1.31 (\Delta T)^{1/3}$$

$$1.52 (\Delta T)^{1/3}$$

جریان آرام کنوکسیون آزاد

$$\boxed{Gr Pr < 10^9}$$

(*) وقتی جریان آراء باشد مصنف عمودی بشیر لفظ مصنفه افقی
 { از روی جدول

(*) ~ ~ ~ ~ ~ افقی ~ ~ ~ ~ ~ عمودی

جواب رقم : ۱۸۰۵۲۹۷۳ جمع ضلع ضلع داغ
معمولا ستر مارما، جوان اسلام آباد

جرین آرام ← ۵۴۰۰

بدرستی ✓

جایی که آزاد: پایداری Stability
انرژی کافی جهت شکستن مقاومت کربن وجود داشته باشد.

اگر صفی بخیر باشد هم مولکون که پیروزه حرکت کند به مولکول با پای خورده صورت آن را زرد در
نبرد اخفی هم مولکون با پای مولکولهای با سری را تکان دهد.

علامہ اعلیٰ : Ra = Gr, Pr
تفسیر فہرستہ از کتاب بخوانند شود

عدد راتف اصلاحی : $Gr^* = Gr, Nu$

دو مولدیکه ω ثابت باشد، رفتار ϕ نیز این طور است ϕ کنیم. دهنه مانت کا، در دلاله

کنوئیکون آزاد از روی کره :

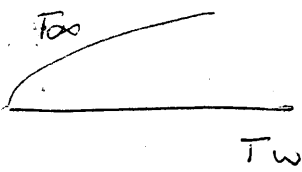
$$Nu = 2 + 0.5 (Gr Pr)^{1/4}$$

$$Nu = 2 \quad B \approx 0$$

* انتقال جرم عدد Sh (برای انتقال جرم از یک دیسک صاف) ۲ می باشد.

همواره در مسائل انتقال حرارت کنوئیکون آزاد همراه با کنوئیکون اجباری است.

* موقع کنوئیکون آزاد در مقایسه با اجباری دلخواه اهمیت است؟



$$\frac{Gr}{Re^2} > 10$$

کنوئیکون آزاد در مقایسه با اجباری اهمیت دارد.

کیف : از یک طرف Gr و Re به هم وابسته است.

کمی : در این رابطه مقاداری به Re^2

حل تست ۱

۴ (۱)

۴ (۲)

۱ (۳)

۲ (۴)

۴ (۵)

۴ (۶) گرادیان دما $\rightarrow 0 \rightarrow k \rightarrow \infty$

۳ (۷) پهنای لایه مرزی ارتعاش



۴ $\rightarrow 0$ ثابت

۲ (۸)

صورت

صورت

$k \rightarrow \infty$

۱ (۹)

۲ (۱۰)

۳ (۱۱) اگر کاشی ثابت باشد ترتیب هی فرق اندازد

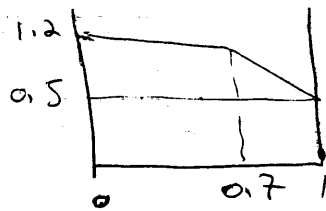
$T = 500$

B C A

در حالت متخلخل در در

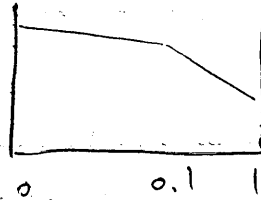
در دمای مختلف موجب فرق در در

۲ (۱۲)



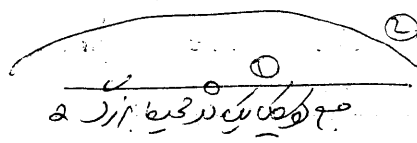
(1C)

در معادله ی پیرامون
در



$$K_I = 0.0033$$

$$K_{II} = 0.003$$



۲ (1K)

$$Q = \sigma A \epsilon_1 (T_1^4 - T_2^4)$$

۳ (10)

$$Q = \sigma A \epsilon_1 (T_1^2 - T_2^2) (T_1^2 + T_2^2)$$

$$Q = hA(T - T_{\infty})$$

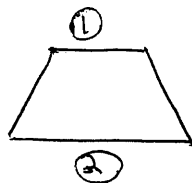
$$Q = \sigma A \epsilon (T_1 + T_2) (T_1^2 + T_2^2) (T_1 - T_2)$$

در

$$hr = \sigma \epsilon (T_1 + T_2) (T_1^2 + T_2^2)$$

اگر $T_1 \sim T_2$: $Q = \sigma \epsilon 4 T_1^3 A (T_1 - T_2)$

$$hr = 4 \sigma \epsilon T_1^3$$



و Q

F (12)

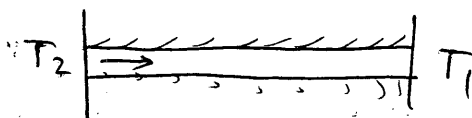
$$Q = q \cdot A$$

$$q = k \frac{dT}{dx}$$

$\lambda_{max} \cdot T = \text{Constant}$
(پروان)

(14)

$$\Rightarrow T \propto \frac{1}{\lambda_{max}}$$



P (11)

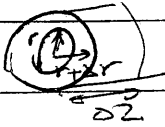
K (19)

$\dot{m} T_w$

$\Delta W_{UL} (Kv)$

$Pe > 100$

$$Pe = Re \cdot Pr = \frac{u D}{\nu} \cdot \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\rho c u D}{k}$$



↑ Pe $\rightarrow$ $\frac{r}{\Delta z}$

$$\frac{\partial T}{\partial r} \bigg|_r + \frac{\partial T}{\partial z} \bigg|_z = 0$$

$$2\pi r \Delta z k \frac{\partial T}{\partial r} \bigg|_r - k \frac{\partial T}{\partial r} \bigg|_{r+\Delta r} +$$

حرارت در r

$$2\pi r \Delta r \frac{\partial T}{\partial z} \bigg|_z - 2\pi r \Delta r \frac{\partial T}{\partial z} \bigg|_{z+\Delta z} +$$

حرارت در z

$$(2\pi r \Delta r) \rho c T \bigg|_z - 2\pi r \Delta r \rho c T \bigg|_{z+\Delta z}$$

تغییر دما

Pe بزرگ: اول معادلات را نوشته پس هم نفوذ را حذف کنیم (تغییر دما در z)

$$-D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} = \frac{\partial c}{\partial t}$$

نفوذ

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} - \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t}$$

له نفوذ

پس گزینه (۴) درست است

در مقدار ابعاد درجه حرارت و ثابت $\frac{\partial T}{\partial x}$ ثابت و در

۱۳۹۶ سال ۸۳ :

۱۳۹۶ سال ۸۴ : ۲ - از روی فرض های تئوری میعان ، سرعت دفع حاجت وارث در این حالت بر سر شده که فوق با فرضیات تئوری ندارد .

جولسش و میعان :

با ΔT کوچک میزان انتقال حرارت با دما در سطح پدید می آید .
 سطح بخار اشباع در سطح به پایین تر کشاندن .
 مایع در کنار سطح دمای بالاتر از جوشش - شروع جوشش

میعان (ساده تر است) :

میعان خفیف - سطح جوشش در نزدیکی سطح از مایع در دما روی سطح است و باعث می شود انتقال حرارت از خوردن خفیف به بخار انتقال یا بدین شکل زود شدن میعان (در کتاب ۸۴ شماره ۲۴)
 میعان قطره ای - سطح تمیز شود .

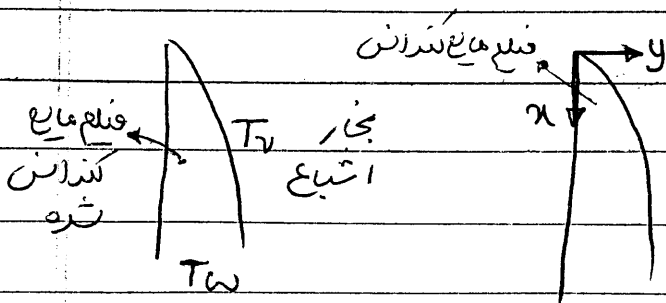
علت : (۱) یک مقاومت در میعان $h_{\text{میعان}} > h_{\text{میعان قطره ای}}$ خفیف .

در هر حالت میعان قطره ای داریم ؟ سطح صاف و مستقیم باشد و در برابر از افتادن مایع
 چوب (مثل لایه های چوب) استفاده کنیم تا خفیف تشکیل شود
 در طراحی معمولاً میعان خفیف را در نظر نمی گیرند .

تئوری میعان خفیف Nusselt :

فرضیات (مقتضای) :

- (۱) Ma ثابت
- (۲) شرایط فیزیکی بی نهایت ثابت
- (۳) انتقال حرارت داخل فیلم مایع میعان شده صرفاً بصورت هدرایت است . نادیده گرفتن همدارافیل
- فیلم مایع خفیف است . (۴) جریان فیلم مایع آرام است
- (۵) سرعت فیلم مایع کم باشد و نسبت به در فیلم مایع تقریباً صاف و مستقیم گرفته می شود



یادآوری بیهوش : فیلم ریزان از سطح مایع :
 بر موقایع سرعت
 (۶) بخار کن (در بطوریکه نزدیک به فصل مشترک مایع وارد نمی کند .

۴۴

$$\left. \begin{aligned} q &= h(T_v - T_w) \rightarrow h = \frac{q}{T_v - T_w} \\ q &= K \frac{T_v - T_w}{\delta} \end{aligned} \right\} \Rightarrow h = \frac{K}{\delta}$$

همانندین عمل گذاریم که مان خارج می آید.

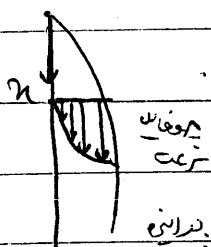
در نهایت با توجه به در اندازه گیری می شود.

با حفظ شود (با فرض است):

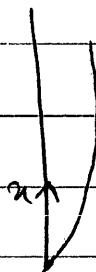
چون شیب در سطح
نمایند.

$$u \frac{\partial u}{\partial n} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{dp}{dn} + g + \nu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}$$

$$\frac{dp}{dn} = ?$$



$$\frac{dp}{dn} = \rho_v g \quad (\text{فشار در سطح})$$



$$\frac{dp}{dn} = \rho_\infty g \quad (\text{فشار در سطح آزاد})$$

معادله به شکل زیر می آید:

$$\frac{d^2 u}{dy^2} = \frac{\rho_\infty - \rho_v}{\rho_v} \frac{g}{\nu}$$

$$\left. \begin{aligned} u &= (\rho_\infty - \rho_v) \frac{g \delta^2}{2\nu} \quad y=0 \quad u=0 \\ y=\delta \quad \frac{\partial u}{\partial y} &= 0 \end{aligned} \right\} \text{شرایط مرزی}$$

تشریح فارغ از - تشریح فارغ از
لحظه تنش در سطح - تنش در سطح
لحظه تنش در سطح - تنش در سطح

$$u = \frac{(\rho_\infty - \rho_v) g \delta^2}{2\nu} \left[2\left(\frac{y}{\delta}\right) - \left(\frac{y}{\delta}\right)^2 \right] \quad \text{ضغ}$$

نور (در سطح)

پروفیل دما: (مگر نمی‌کنند دما را فقط به صورت خطی فرض می‌کنند):

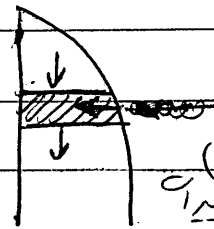
$$T = T_w + (T_v - T_w) \frac{y}{\delta}$$

هرف ما چاره δ است:

$$\dot{m} = \int_0^y \rho u dy$$

* با واردات u و انتشار δ می‌کنیم

$$\dot{m} = \frac{\rho_l (\rho_l - \rho_v) g \delta^3}{3\mu}$$



* (دما نیست)
دارد - به سبب تغییر
درم

معادله دافلز خنجم

$$\dot{m} h \rho g \Big|_x - \dot{m} h \rho g \Big|_{x+\Delta x} + q \Delta x = 0$$

معادله که داریم و می‌خواهیم صورت کلی بگیریم
اگر این جرم ما به معنای δ باشد:

$$q_x = h \rho g \frac{d\dot{m}}{dx}$$

(حالت
زنه‌ای)

$$k \frac{T_v - T_w}{\delta} = h \rho g \frac{\rho_l (\rho_l - \rho_v) g \delta^2}{\mu} \frac{d\delta}{dx}$$

می‌توانیم این را به اولاد:

در شرایطی، $x=0$ ، $\delta=0$

$$\delta = \left[\frac{4k(T_v - T_w)\mu x}{\rho_l(\rho_l - \rho_v)g h \rho g} \right]^{1/4}$$

$$\delta(x) \sim x^{1/4}$$

صاف: (۱) پروفایل، (۲) جرم، (۳) روشن‌سازی، (۴) معادله (می‌توانید حل را بنویسید)

حال δ را به صورت h به رابطه می‌آوریم:

$$h = \frac{k}{\delta}$$

$$h(x) \sim x^{-1/4}$$

$$\bar{h}_{x=L} = \frac{4}{3} h_{x=L}$$

نقطه فضایی

در این معادلات اصولی نسبت به این مرسوم شده و از با عدد Jacob نشان می دهند: ۳۴

$$J = \frac{C_p (T_v - T_w)}{h_{fg}} \quad \text{عدد } J_a$$

$$h'_{fg} = h_{fg} (1 + 0.68 J_a)$$

$$h_{fg} \quad \text{و} \quad h^*_{fg} \quad \text{جایگزین می شود در روابط قبلی}$$

برای صمغ عمود روابط بدست آمد.

برای حالت های مختلف دیگر روابط تجربی وجود دارد:
 میخ های بیرون استوانه، داخل استوانه و ...

کندانس شدن روی لوله افقی:

$$h_m = 0.725 \left[\frac{g \rho_L (\rho_L - \rho_v) h_{fg} k_L^3}{M_L (T_v - T_w) D} \right]^{1/4}$$

$$h \sim D^{-1/4}$$

رابطه مقایسه ای h استوانه افقی و عمودی:

$$\frac{h_{vertical}}{h_{hor}} = 1.3 \left(\frac{D}{L} \right)^{1/4}$$

$$L < 2.87 D \rightarrow h_{عمود} > h_{افقی}$$

$$L = 2.87 D$$

$$L > 2.87 D \quad h_{افقی} < h_{عمود}$$

در قراردادن مبدل ها توجه به جهت افقی

مبدل ها بافتن زیاد کرده
ضخمت ها زیاد می شود

هر مبدل طولی نباید محصور کرده
مبدل کوتاه، ضخمت لایه کوتاه

ارتباط بین h یک لوله و n لوله :

Oh



$$h_N = \frac{1}{N^{1/4}} h$$

یک لوله لوله

h_N لوله که در سطح انتقال حرارت با آن درود

مثلاً ۱۶ لوله : $h \leftarrow \frac{1}{2}$
 در سطح ۱۶ برابر
 انتقال حرارت ۸ برابر
 احوالین می باشد.

Re و

$$Re = \frac{\rho u D}{\mu}$$

در صورتی که Re در حد ۲۳۰۰ باشد ...

Re از ۲۳۰۰ تا ۱۰۰۰۰ در محدوده جریان همبسته است.

از معادله قطر معادل استفاده می کنیم

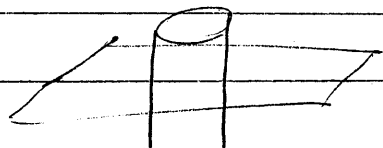
$$D_{eq} = 4r_H = 4 \frac{A}{P}$$

$$Re = \frac{4m}{\mu_e P}$$

له h محیط تر شونده

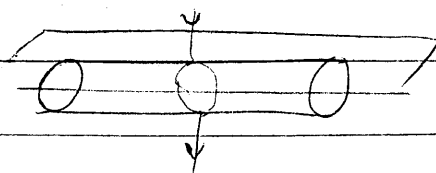
هو برای تعیین محیط تر شونده که در هر یک از این موارد
 جریان ای بر دکت عرض مشترک محیط تر شونده با

داده



استوانه عمودی :

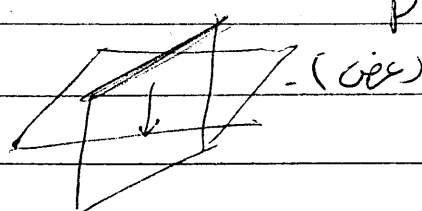
$$P = \pi D$$



استوانه افقی :

$$P = 2l$$

صفحه : $P = w$



(صفحه)

تبدیل آرام به ترم : $Re < 1800$ آرام

ترمیلاک لوله یا صفت : $Re > 1800$ ترم
(میان صفت کنان)

عدر کنان : (

$$Nu = Nu(Re, Pr) \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{میان} \\ \text{قلی} \end{array} \right.$$
 (فصوله صفت شور) :

$$Nu = Nu(Gr, Pr)$$
 جهت داره خم به این صفت :

این عدر تعریف کرد
(نوشتن یک عددی بعد بر صفت چند عددی بعدی)

حفظ شور : $Co = h \left[\frac{ML^2}{ke^3 Pe (Pe - Pr) g} \right]^{1/3}$: تعریف

روابط ساده کرد : $Co = 1.47 Re^{-1/3}$
 میان صفت افقی : $Re < 1800$

" " " : $Co = 0.0077 Re^{-0.4}$
 $Re > 1800$

حفظ شور : $h \sim (5 \text{ تا } 10) \frac{میان}{قلی}$
 میان صفت افقی

ضریب انتقال حرارت :

میان : $h \sim (2 \sim 3) \frac{میان}{قلی}$

چون h ترکیب عوامل مختلف است 5 تا 10 برابر می شود تا 3 برابر

سطح سفت به میان صفت افقی

به فلان قابست ورقه ورقه شدن کشش و صفت، نقره، به تینوم به صفت

روپ می زند از صفت سفت در می آید

با جرم کم پلاستین و طلا سطح بسیار در دست می آورند

جوشش:

از آنجا که تئوری بسیار پیچیده چون هیدرو دینامیک، بیان پیدا کرده است و هنوز از رویای تجربی استفاده می شود.

Pool Boiling: تبیل ساکن که در یک سیال ساکن و بیاض یا در مایع بالاتر از جوش تبیل در دافد تبیل.

مکانیزم های مختلف جوشش داریم: جوشش حتمی،

جوشش غلیظ،

جوشش حالت گذرا (ترکیبی)

حالت مقین.

تقابل روی صلب وجود دارند که صلب های بخار روی آن شکل می گیرند

اولین تقاطع که صلب شکل می گیرند هسته های جوش یا مکان های فعال نام دارند.

حواص جمع (مکانیزم سطحی) (سطح صلب تمیز، صاف، گلاظت) روی تقصیر نقطه فعال اثر می گذارد.

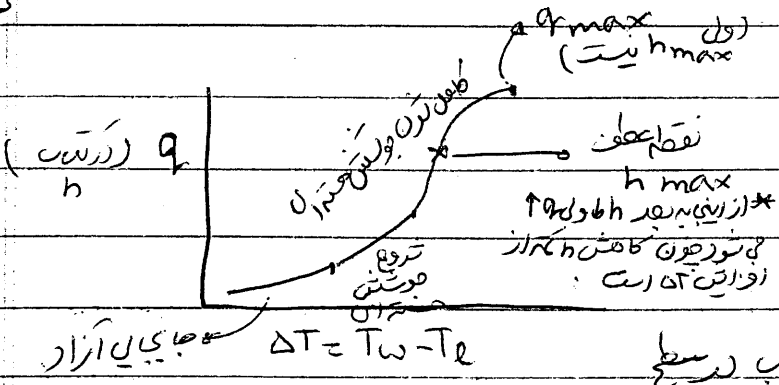
پس از این در صلب این صلب ها در سطح خارج حرکت یا از بین رفته یا به هم پیوندند

حواص خود تبیل هم مهم است. بنابراین حواص مایع، بخار و حواص مشترک (فرینکشن)

ظرف

دانشگاه اوجیت دارند

در آن



آزمایش: تبیل دافد تبیل

و ΔT (تفاوت دما) تبیل

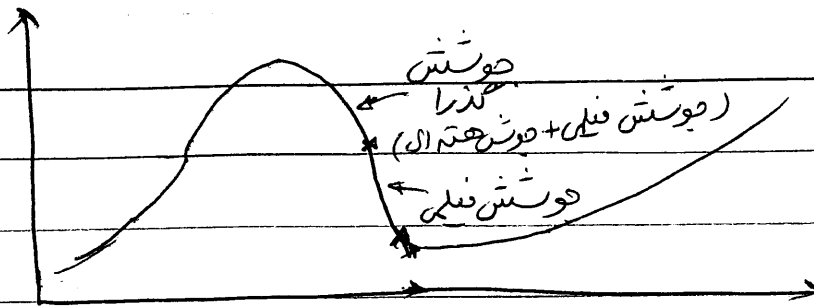
$$\Delta T = T_w - T_e$$

$\Delta T < 5$ قدرت وجود ندارد تا صلب در سطح

صمداری ر شود - جای آزار در هم داریم.

بخارات ای ر شده ولی مکانیزم انتقال از جمع جاذبه مایع است و بین کونکین (ظرف) هنوز مکانیزم غلب کونکین.

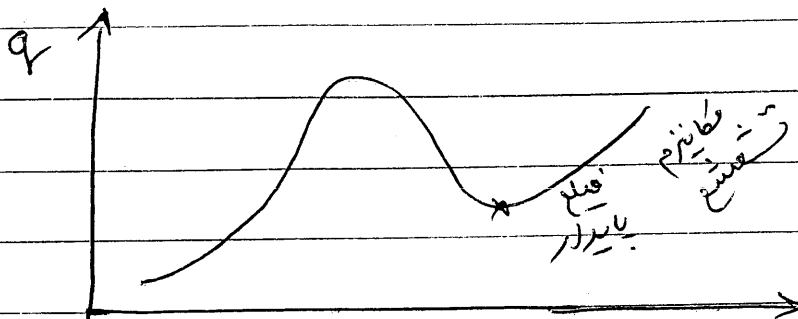
پس جوشش مایع به سطح جاذبه ضرر، بخار صلب تبیل، به هم پیوندند و به سطح مایع می آید.



حتمه ال: مایع روی سطح بخار شده جباری شود و در دور (تأسیس مستقیم مایع با صیسم)

جوشش غلیظ: یک فیلم از جبار یا پیرار اطراف صیسم جامد را میگیرد

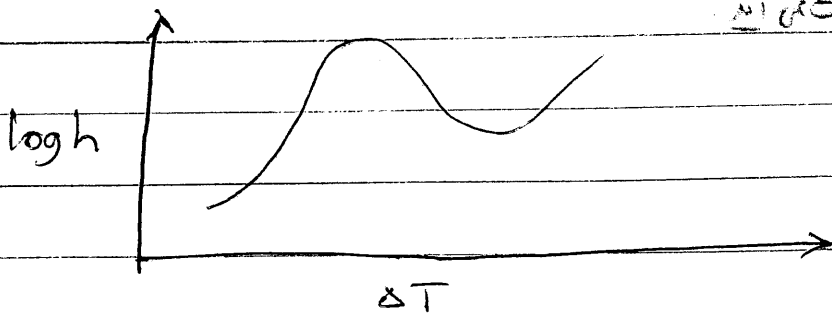
مایع به بخار برضورد کرده و تأسیس مستقیم با صیسم جامد ندارد و مایع در اثر تبادل با بخار هم برضورد کرده و تغییر فاز می دهد



$$\Delta T = T_w - T_l$$

در بعضی این حالت هم اینطور می شود

یعنی اگر دما را کم کنیم این منحنی بدست می آید



شکل که همان است:

آیا در جوشش غلیظ ضرایب سطحی صیسم مهم است؟ چون تأسیس مستقیم ندارد ضرایب سطحی جامد مهم نیست (زیرا، جبار و ...)

(۲۲)

رابطه Rohsenow

$$C_p \frac{T_w - T_{sat}}{h_{fg} Pr^n} = C \left[\frac{q}{\mu h_{fg}} \sqrt{\frac{\sigma}{g(\rho_f - \rho_g)}} \right]^{1/3}$$

۲ حفظ شود

رابطه برای جوشش هسته ای

n و C بستگی به جنس سیال و سطح جامد دارند

در این رابطه هندسه شکل بیان نشده است

۱۱ هندسه بستیم تعریف نمی شود

۱۲ این رابطه فقط برای سطح صیقلی نوشته شده است

(۲۳)

$$q \sim \Delta T^{1/3}$$

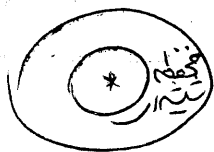
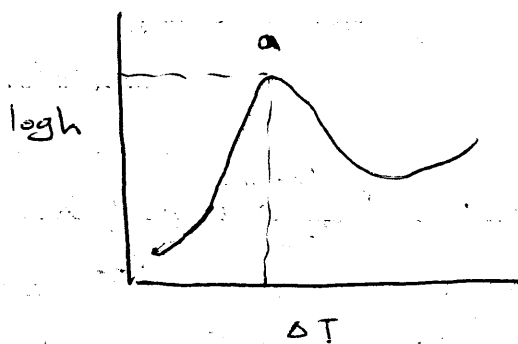
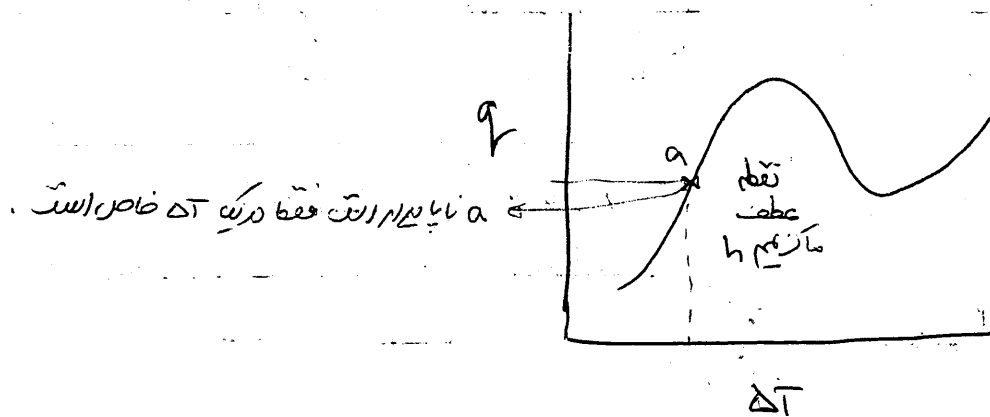
حفظ شود :

جوشش هسته ای

q_{max} به چه چیزهایی ارتباط دارد ؟

تابعی از خواص فیزیکی سیال، شکل ظرف، صیقلی بودن یا نبودن و به ΔT بستگی ندارد

سال ۸۴ تا ۸۵ : ۱



۳. قیاس جابجایی انتقال حرارت را $\min$ کنیم.

چون گرم نگاه داشتن چای در فلاگس.

۱۲. ضایع دوبرداره

۱۱. کم کردن ضایع دوبرداره

۱۳. خوار دانستن فیلد آکوستیکی

۱۴. انتقال به لایه نازک

شعشع یا تابش : Radiation

هر صفتی در درمیان به شکل انرژی تابش انرژی از خود پراکنده می‌کند.

$$E \sim T^4$$

(در دمای مطلق)

اهمیت تابش در دمای بالا اول در درمیان به شکل تابش در لایه.

یک مکانیسم مخفی به فرکانس برای انتقال به یک تابش است. احتیاج به محیط‌های ندراریم.

$$0.1 \sim 100 \mu m$$

محدوده تابش :

$$0.35 \sim 0.75 \mu m$$

نور مرئی :

صدم بیاه : صدم بدون بازگشت و عبور شعشع را صدم بیاه می‌نامند و هیچ ربطی به رنگ

صدم ندارد

قانون استفان بولتزمن

$$E_b = \sigma T^4$$

میزان انرژی پرتو
انتشار از هر واحد
مساحت

تئوری الکترومغناطیس ماکسول
کوتاه بیانگ

$$\sigma = 5.669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$$

تشریح در طیف های مختلف تحت در شرایط :

$$E_{b\lambda} = \frac{C_1 \lambda^{-5}}{e^{C_2/\lambda T} - 1} \rightarrow \text{حفظ شود}$$

$$\int_0^\infty E_{b\lambda} d\lambda = E_b$$

با انتگرال گیری

یعنی جمع طیف های مختلف E_b را می دهد

اگر از $E_{b\lambda}$ مشتق نسبت به λ بگیریم λ_{max} از ما می یابیم و ولادان
مشتق درست می آید

$$\lambda_{max} T = \text{Constant} = 2897.6 \mu \text{m K}$$

* اسم قانون حفظ شود

$$E_b \leftarrow \text{انتقال} \leftarrow E_{b\lambda}$$

$$\lambda_{max} E_{b\lambda_{max}}$$

* میزان انتشار را با هم واقعی کسری از جمع پرتو است :

$$Q = \epsilon E_b \quad \epsilon \leq 1$$

منتشره
جمع واقعی

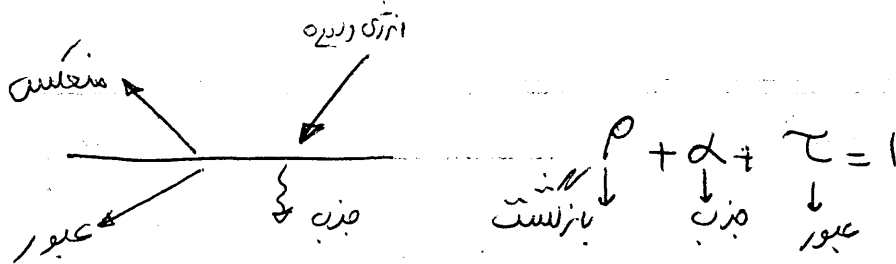
$$\epsilon = \epsilon(\lambda) \rightarrow \text{صمیم واقعی}$$

(واقعاً) در حقیقت
صمیم خالص

$$\left\{ \begin{array}{l} \epsilon \neq \epsilon(\lambda) : \text{اگر صمیم} \\ \epsilon = \text{Constant} : \text{باز هم حالتی برای آن است (تقریبی)} \end{array} \right.$$

* ϵ برای یک صمیم تابع λ است

← یک صمیم واقعی



جای ع بر فرمول فوق کجا است؟ (در بطن زندگی)

مولد نه با س نور دارد که است یا جذب یا دفع یا عبور دلای.

طبق قانون کیرشف: $\boxed{\epsilon = \alpha}$ * این قانون ربطی به رابطه با این ندارد.

(*) ضرب شکل (۳۳):

تاکنون صحبت است از بود حالت انتقال حرارت دلای توازن بین دفع و جذب هم است. ضرب شکل قطع می شود.

ضرب شکل F_{AB} : کوری از انرژی که A باریک کرده و به B می رسد.

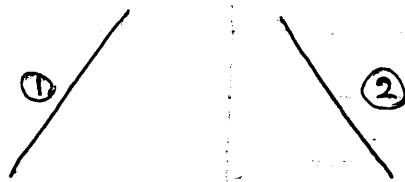
$$F_{1 \rightarrow 2} \text{ یا } F_1 \rightarrow 2$$

(*) ضرب شکل: سطح یک شکل روی شکل دیگر.

قانون ضرب (پیش):

به فرمول ها نگاه کنید

ضرب شکل تابعی از نحوه قرار گرفتن اجسام در فضا است و تابع میزبانی نیست.



$$Q_{1 \rightarrow 2} = A_1 F_{12} \epsilon T_1^4 - A_2 F_{21} \epsilon T_2^4$$

نویسیده فرض شود.

$$\text{if } T_1 = T_2 \rightarrow Q_{1 \rightarrow 2} = (A_1 F_{12} - A_2 F_{21}) \epsilon T^4$$

reciprocity Relation:

قانون پیش
(ضرب)

$$\boxed{A_1 F_{12} = A_2 F_{21}}$$

* یعنی که ثابت کنید که همواره:

$$T_1 = T_2 \leftarrow \text{انتقال حرارت خاص صفر است}$$

$$A_1 F_{12} = A_2 F_{21} \leftarrow Q_{1 \rightarrow 2} = 0 \leftarrow T \neq 0$$

لکه می که داشته باشیم، از آنجا که ضرب شکل تابع دما نیست بنا بر این برای تمام دماها ثابت داریم.

A 1.6 m^2

B 2.9 m^2

$F_{AB} = 0.6$

تت ۱۱) مقاومت قفسی در سیستم چیست؟
۸۳۵۰

$$\frac{1}{A_A} F_{AB} = ?$$

$$\sum_{j=1}^n F_{ij} = 1$$

رابطه جمع :

موازینه انرژی
بدون نشان هم بودن
قبل بیان است

نقطه ای از سیستم $F_{ij} = 0$ یعنی هیچ نقطه ای از سیستم
نقطه ای از سیستم را نشان نمی دهد

$$F_{ii} \neq 0$$

مهم ترین

(*) برای یک سیستم N جرمی : دارای N^2 ضریب شکل هستیم

$$\begin{bmatrix} F_{11} & F_{12} & \dots & F_{1N} \\ F_{21} & & & F_{2N} \\ \vdots & & & \\ F_{N1} & & & F_{NN} \end{bmatrix}$$

با استفاده از روابط فرضی ضریب شکل تعیین می شود ؟
(المان ۱ از N جرمی برای هر یک از روابط در دسترس است)

با استفاده از روابط جمع ضریب شکل تعیین می شود : N رابطه

مجموع N^2 ضریب شکل

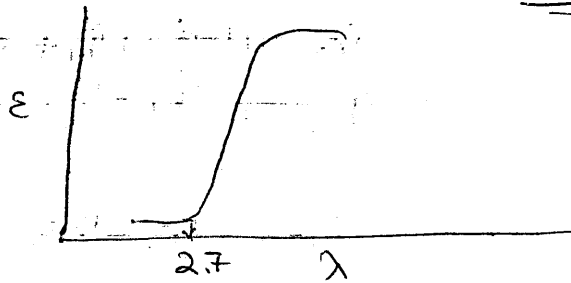
سایر معادلات را از تعارین ، جدول ، اطلاعات و ... باید بدست آوریم
مؤلفه های موجود (مثلاً برای بزرگ ...)

$$N^2 - \left(\frac{N(N-1)}{2} + N \right) = \frac{N(N-1)}{2} : F_{ii} \neq 0 \text{ اگر}$$

$$N^2 - \left(\frac{N(N-1)}{2} + N + N \right) = \frac{N(N-3)}{2} : F_{ii} = 0 \text{ اگر}$$

(یعنی قطرهای برابر صفر گردد)

وضعیت ضرب جسم یا نشر تپه :



$$\boxed{\varepsilon = \alpha}$$

شیع سطوح جمع های بلند بخوبی جذب می کند و سطوح جمع های کوتاه به راحتی از خود عبور می دهد.

وضعیت تابش طرها :

سطوح جمع های کوتاه : عبوردهی بالا
(دمای بالا)

سطوح جمع های بلند : عبوردهی پایین
(دمای پایین)

بین دو جسم سیاه رابطه انتقال حرارت : (خالص) بین دو جسم سیاه :

$$Q = A_1 F_{12} \sigma (T_1^4 - T_2^4)$$

بین دو جسم غیر سیاه به هم انتقال حرارت :

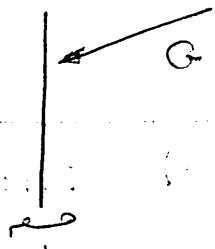
$$Q = \frac{\sigma (T_1^4 - T_2^4)}{1/A_1 F_{12}}$$

بین دو جسم سیاه فقط مقاومت
فضایی داریم.

بین دو جسم غیر سیاه انتقال حرارت :

$G = \text{irradiation}$ = کل تشعشع رسیده به سطح جسم

$J = \text{radiosity}$ = کل تشعشع ترک شده سطح جسم

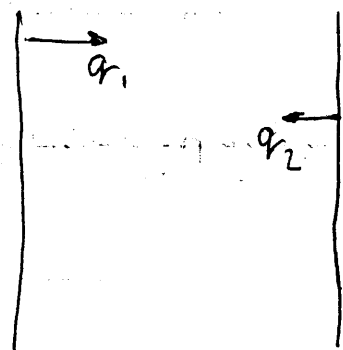


آیا فرض شد عبور نداریم، عبور و نفوذ شده؟

$$G = \dots$$

$$J = \epsilon \sigma T_1^4 + \rho G$$

مقدار یکتا شده



$$q_1 = (1 - \alpha_1) q_2 + \epsilon E_{b1}$$

$$q_2 = (1 - \alpha_2) q_1 + \epsilon_2 E_{b2}$$

$$q_{1-2} = \frac{q_1 - q_2}{\dots}$$

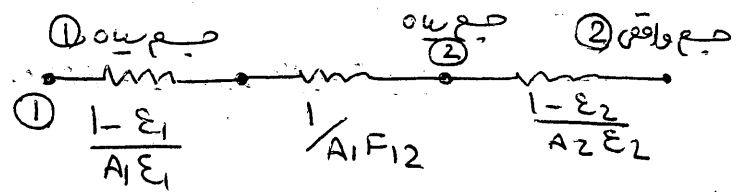
در صورتی که $F_{12} = F_{21} = 1$

$$q_{1-2} = q_1 - q_2$$

$$q_{1-2} = \frac{\sigma (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1}$$

در حالت کلی:

$$Q = \frac{\sigma (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{(1 - \epsilon_1)}{A_1 \epsilon_1} + \frac{1}{A_1 F_{12}} + \frac{(1 - \epsilon_2)}{A_2 \epsilon_2}}$$

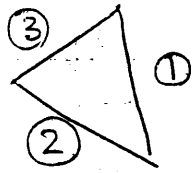


مقاومت فضای
جمع غیر سیاه
مقاومت سطحی

* توهم فاصله در ضرب شکل تأثیر ندارد.

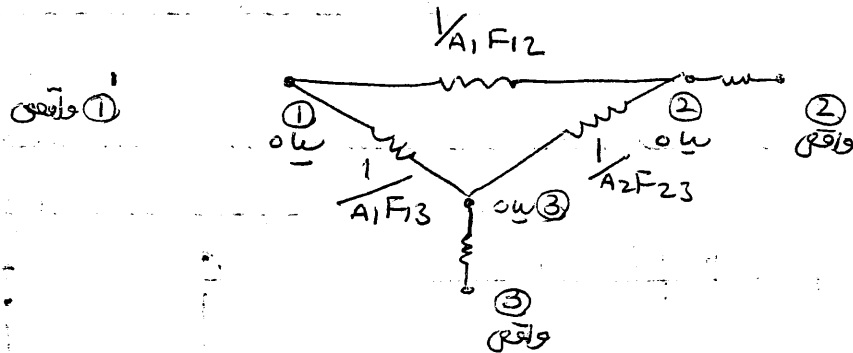
با این وضع مورد تأثیر ندارد. (۲)

صحنی که مساحتها همبسته باشند
خیر در صفت باید ضلع بزرگ باشد

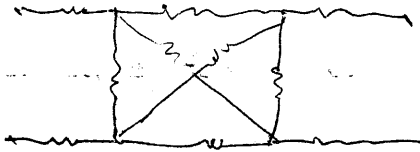


برای سه ضلع:

در این باره می‌توانیم خود را به این شکل نشان دهیم.



فقط:



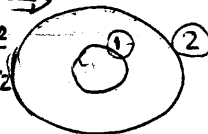
توضیح کامل موازی:

$$F_{12} = F_{21} = 1$$

$$q = \frac{Q}{A} = \frac{\sigma (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1-\epsilon_1}{\epsilon_1} + 1 + \frac{1-\epsilon_2}{\epsilon_2}} = \frac{\sigma (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1}$$

$$Q = \frac{\sigma (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1-\epsilon_1}{\epsilon_1} + 1 + \frac{1-\epsilon_2}{\epsilon_2}} \Rightarrow$$

$$F_{12} = 1 \Rightarrow$$



توانسته بودرتو:

F_{21} که در

F_{22} در

$$Q = \frac{\sigma A_1 (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{A_1}{A_2} (\frac{1}{\epsilon_2} - 1)}$$

* شعاع از سطح بیرون جمع می‌شود
سطح داخلی صاف ۲

$$\text{اگر } \frac{A_1}{A_2} \rightarrow 0 \Rightarrow$$

$$Q = \sigma A_1 \epsilon_1 (T_1^4 - T_2^4)$$

که رابطه آن که قبلاً بدون نشان پذیرفته برای یک سطح کوچک محاط شده در یک بزرگ.

سپهرهای صحرانی :

سپهر صحرانی باعث کاهش انتقال حرارت می‌گردد.

~~تک سطح~~

دو صفحه کاملاً بی نهایت بزرگ، موازی در نظر گرفته می‌شود. خصوصیات سطح دو صفحه کاملاً یکسان می‌باشد یعنی $\epsilon_1 = \epsilon_2$.

$$q = \frac{\sigma (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1}$$

①

②



صفحه‌ای مانند ③ را بین این دو صفحه قرار می‌دهیم (مقاومت معزای فوقی ندارد در کجای قرار دهیم):

$$q = \frac{\sigma (T_1^4 - T_3^4)}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1} = \frac{\sigma (T_3^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\epsilon_3} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1}$$

①

③

②



$$\Rightarrow T_3^4 = \frac{1}{2} (T_1^4 + T_2^4)$$

آنگاه میانگین دما به سادگی بدست می‌آید.

$$q_{\text{با سپهر}} = \frac{1}{2} \frac{\sigma (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1}$$

یعنی نصف حالت بدون سپهر.

$$q_{\text{با سپهر}} = \frac{1}{(n+1)} q_{\text{بدون سپهر}}$$

در این حالت خاص: موازی، صفحات بزرگ، ...

که n تعداد سپهرهای باشد.

درم صارت سطح خورشید:

$$\lambda_{max} T = 2897.6$$

(P)

$$\lambda_{max} = 0.5 \mu m$$

خورشید

$$T = 5795 K$$

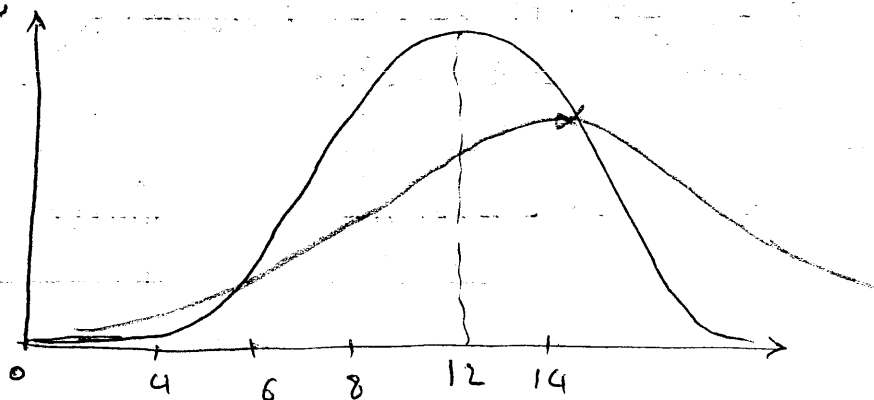
سطح خورشید

ثابت خورشیدی: Solar constant: G

G برابر میان انرژی از خورشید به زمین در هر (خارج از جو) در متوسط فاصله زمین از خورشید.

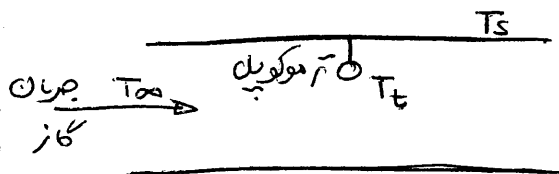
$$G = 1395 \frac{W}{m^2}$$

تشتع رسیه
به سطح زمین



گازها و سطح مویج کوتاه عبور دهنده هستند باید زمین گرم شود پس ما را به سطح (الراف) برده
این نمودارها دلایل تأخیر است.
Convection

خطای اندازه گیری ترموکوپل:



هدف: اندازه گیری درم حرارت که رهای فرعی
دورکش یا کوره.

معادله انرژی برای ترموکوپل:

$$T_\infty > T_t > T_s$$

بین انتقال طرارت دلیم ← بین ترموکوپل و گاز: ط ی-ه:

$$hA(T_\infty - T_t) =$$

ترموکوپل و سطح: حرارت تشتع
* اگر حدیث باشد تأخیر است.

$$\approx \epsilon A (T_t^4 - T_s^4)$$

$$h(T_{\infty} - T_c) = \epsilon \sigma (T_c^4 - T_s^4)$$

$$T_c = T_{\infty} - \frac{\epsilon \sigma}{h} (T_c^4 - T_s^4)$$

← T_c دمای کمتر از T_{∞} را نشان می‌دهد به این کاهش خطا:
به عبارت دیگر سرعت گازها را زیاد کنیم. $h \uparrow$

انتقال حرارت در کوره‌ها:

تأثیر عوامل اصلی در انتقال حرارت در کوره: ۱. جابجایی ناشی از حرکت گازها. ۲. تابش. ۳. انتقال حرارت کوره

۱. جابجایی: در کوره‌ها به دلیل حرکت گازها و تابش (تابش و انتقال حرارت)

در دمای بالا، تابش گازها پدیدار می‌شود. به این دلیل: ۱. حجم کوره را زیاد می‌کنند

و با افزایش دما، حجم بزرگ و فشار بالا روی گازها اثر می‌گذارد.

۲. جنس مولد دهن کوره طوری باشد که با دما داشته باشد. $\rightarrow$ شدت تابش زیاد

C_m
 Co_2
 H_2C
 C
 H_2O

منبع حرارت (گاز، حجم بالا) + اختراق ناقص

(*) کربن و گازها را می‌جوشاند. $\rightarrow$ شدت تابش زیاد

(ت) تابش شدت $\rightarrow$ شدت آب می‌رود

* گازها یا یون‌ها

(ک) در گازها و گازها را می‌جوشاند و
قطب با انرژی زیاد گازها را می‌جوشاند
و به اثر می‌گذارد.

کوره‌ها
 $\rightarrow$ کوره
 $\rightarrow$ دمای بالا
 $\rightarrow$ جابجایی

اولویت اول $\rightarrow$ منبع حرارت

مبدل‌های حرارتی :

- Design (در این درس نداریم)
- rating (شدت انتقال حرارت)
- sizing (سطح انتقال حرارت)

هدف : ارتباط بین Q و ΔT ، ضریب تناسب U برقرار کنیم .

$$Q = A U (\Delta T = ?)$$

تبدیل

$$\left. \begin{array}{c} T_A \\ h_A \end{array} \right| \text{ دیواره } \left| \begin{array}{c} T_B \\ h_B \end{array} \right.$$

$$Q = \frac{T_A - T_B}{\frac{1}{h_A A} + \frac{\Delta x}{k A} + \frac{1}{h_B A}}$$

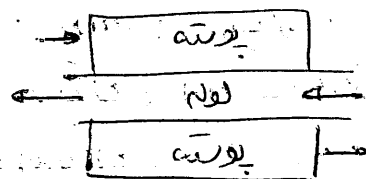
$$Q = U A \Delta T$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_A} + \frac{\Delta x}{k} + \frac{1}{h_B}}$$

U تابعی از ضرایب تشکیل دهنده دیواره و کفیم جامد می باشد

اگر مبدل (طول مبدل) را دو برابر کنیم ، U چه تغییری می کند ؟ هیچ تغییری نمی کند .

U : ضریب کلی انتقال حرارت overall heat transfer
coef.
* (همانقدر با h می باشد)



مبدل‌ها :
مبدل متوالی : Co current
مبدل متضاد : Counter current

ضریب ریزش یا جرم (فتل) :

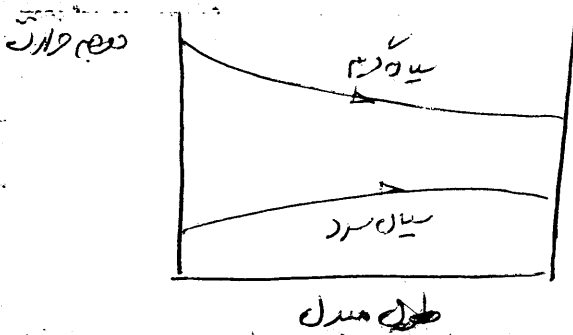
$$R_f = \frac{1}{U_{\text{کشیف}}} - \frac{1}{U_{\text{تئری}}}$$

بیندیکر مبدل در ارتباط با جرم (فتل) :

U به تدریج کاهش می یابد (بدلیل جرم ریزش)

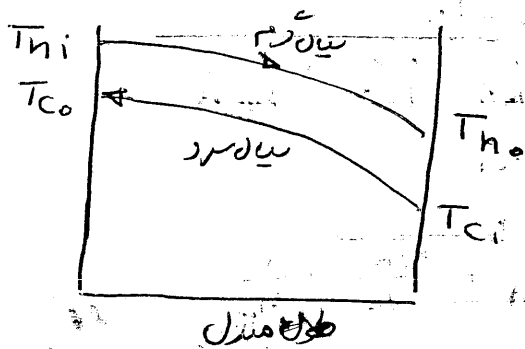
ضریب ریزش برعکس h : و در ضریب ریزش $m^2 \cdot ^\circ C$

به شکل نمودار گردد:



توسیع هم چنان:

دو سیال مختلف الکجیت



نوع: در مبدل هم: همواره $T_{co} < T_{ho}$

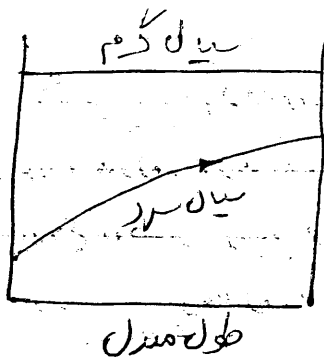
ولی در مبدل ها هم ممکن است $T_{co} > T_{ho}$

* نوع دوم در مبدل سرد و گرم هیچ به هیچ قطع نمی کنند

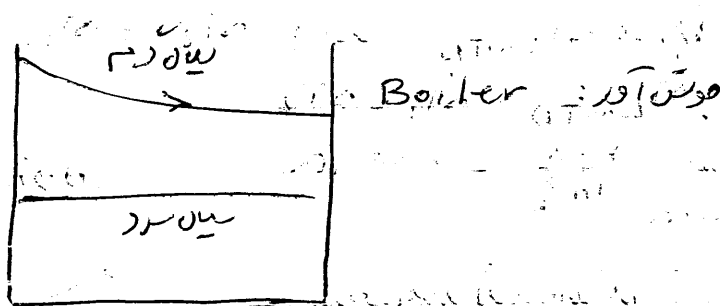
سیال min: سیال حاصل ضرب $m \cdot C_p$ آن کمتر باشد

مبدل لایه ای: انتقال حرارت مستقیم

مبدل ایده آل: ؟



طرات سیال: کنسانتر



$$Q = \dot{m}_c c_p (T_2 - T_1)$$

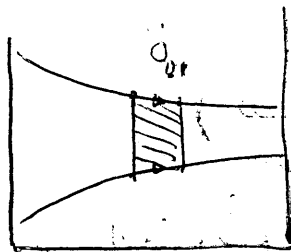
$$Q = \dot{m}_h c_p (T_{h1} - T_{h2})$$

برای انتقال حرارت در مایه سرد و مایه گرم: $Q = \dot{m}_c c_p (T_2 - T_1) = \dot{m}_h c_p (T_{h1} - T_{h2})$

$$Q = \lambda \dot{m} \quad \text{برای تغییر فاز: میف}$$

(*) اگر تغییر فاز به شکل $\dot{m} c \Delta T$ بیان کنیم:

در مایه سرد و مایه گرم: $\Delta T \rightarrow 0$ این $\dot{m} c$ باید به سمت بی نهایت برود تا مقدار Q را بدست دهد (تغییر فاز به شکل $\dot{m} c \Delta T$ بیان کنیم)



$$Q = UA(\Delta T) \quad \text{در مایه سرد و مایه گرم}$$

در مایه سرد و مایه گرم

$$dQ = -\dot{m}_h c_p dT_h$$

$$dQ = \dot{m}_c c_p dT_c$$

$$dQ = U dA (T_h - T_c) \quad \text{از طرف دیگر:}$$

و ضوابط:

① خصوصیات فیزیکی مایه ثابت c_p ، c_h ثابت

② ضرایب انتقال حرارت ثابت هستند یا تغییرات ناچهارم در مایه سرد و مایه گرم (در مایه سرد و مایه گرم که تاراج دارند ثابت هستند).

$$\Rightarrow Q = UA \Delta T_{LMTD}$$

* اگر تغییر فاز در $LMTD$ باشد

و نمودار به شکل ΔT_{LMTD}

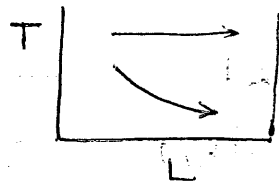
$$\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}}$$

اگر $\Delta T_1 = \Delta T_2$ باشد ΔT_{LMTD} می شود ΔT_{LMTD} با هویت:

$$\Delta T_{LMTD} = \Delta T_1 = \Delta T_2$$

با داری: $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n-a}{\ln \frac{n}{a}} = a$ (۱)

متوسط $\rightarrow$ هندس $\leftarrow$ درجه مورد اگر نوعی باشد متوسط برابر میان هندسها می گردد.



مؤلفه مربوط به کدام نوع مبدل است؟ نه Boilers و نه کندانسور

اگر مثل نبود است و داشت در این شکل

میان سرد، سردتری گردد پس پاسخ هیچ کدام است چون همواره میان سرد، جابجایی شود.

اگر مبدل دولوله ای نباشد:

$$Q = UA \Delta T_{LMTD} F$$

$$F = F \left(\frac{T_{t,out} - T_{t,in}}{T_{s,in} - T_{s,out}}, \frac{T_{s,in} - T_{s,out}}{T_{t,out} - T_{t,in}} \right)$$

تفاوت زود

S: shell t: tube

$$F = F \text{ (تعداد مبدل و تعداد جریانی)}$$

عنونی و ضروری

(*) اگر تغییر فاز داشته باشیم $F=1$ یا به عبارت دیگر رفتار مبدل مستقیم الگوی جریان.

$$Q = UA \Delta T_{LMTD}$$

(**)

ΔT_{LMTD} برای مبدل های غیر دولوله ای بصورت مبدل دولوله ای با جریان موازی (مکولی) در نظر گرفته می شود.

$$Q_{max} = (\dot{m} c_p) (\Delta T)_{max}$$

برای روین $\rightarrow$ ΔT_{min} ← برای یک سیال

$$\epsilon = \frac{(\dot{m} c_p) (\Delta T)_{min}}{(\dot{m} c_p) (\Delta T)_{max}}$$

اثر فرسار
مبدل

$$T_{hi} - T_{ci}$$

برای یک سیال

$$\epsilon = \frac{\Delta T_{min}}{\Delta T_{max}}$$

برای روین $\rightarrow$ ΔT_{max}

$$Q = \epsilon Q^*$$

اگر ϵ را داشته باشیم می‌توانیم Q را بدست می‌آوریم.

Q_{max}

$$0 < \epsilon < 1$$

$$\epsilon = 1 \rightarrow \text{مبدل ایده‌آل}$$

روابط ϵ و NTU $\rightarrow \epsilon = \frac{1 - \exp\left[\left(-\frac{UA}{C_{min}}\right)\left(1 + \frac{C_{min}}{C_{max}}\right)\right]}{1 + \frac{C_{min}}{C_{max}}}$

برای مبدل دو
لوله‌ای به جریان
متضام

$$C = \dot{m} c_p$$

در $NTU - \epsilon$ با تغییر ϵ و $\frac{UA}{C_{min}}$ در رابطه

$$\frac{UA}{C_{min}} = NTU = \text{اندازه‌ی تغییر مبدل}$$

برای یک مبدل خاص اگر دماهای ورودی و خروجی را تغییر دهیم ϵ تغییر می‌کند چون نسبت $\frac{\Delta T}{\Delta T}$ ثابت می‌ماند.

$$\frac{C_{min}}{C_{max}} \rightarrow 0$$

$$\boxed{\varepsilon = 1 - e^{-NTU}}$$

اگر تغییر فاز داشته باشیم :
برای کلیه مدل ها :

توجه : در مدل لایه‌ای $NTU \rightarrow \infty$
 مدل لایه‌ای $\leftarrow$ توفیق لایه
 $\varepsilon = 1$
 $NTU \rightarrow \infty$

max, لایه‌ای (ε) :

$$Cr = \frac{C_{min}}{C_{max}} = 0$$

$$Cr = \frac{C_{min}}{C_{max}} = 1$$

min, لایه‌ای (ε) :

→