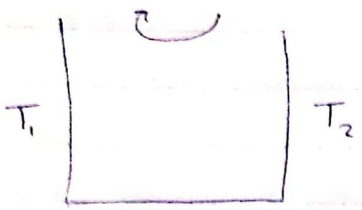
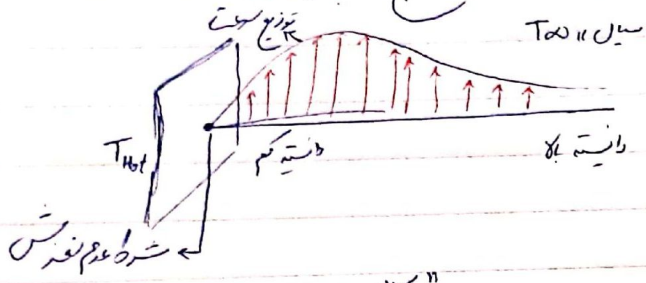


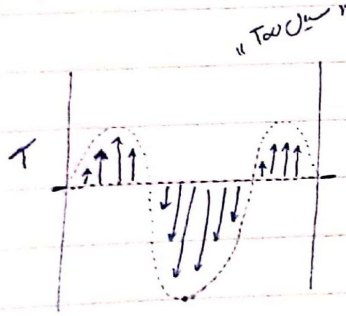
با همزدن سیال میان دو دما، افزایش «Eddy» داریم پس
تبادل گرمای بیشتری نیز داریم.

Convection :

- Forced «وجود منبع خارج» ⟨ فن / پمپ
- Free «بدون منبع خارجی بوجود میآید» → به خاطر جاذبه «buoyance»



دیواره گرم در مجاورت سیال با T_∞ :



کانال سیال با T_∞ با دیواره‌های T :

به خاطر عدم وجود نیروی خارج ⇐ $\bar{V}=0$ ⟵ $\dot{m}=0$

ایستگاه فضایی :

در ایستگاه فضایی جاذبه نزدیک صفر می‌باشد پس همواره در حال سقوط است (سقوط آزاد) نمی‌توان از Free Convection استفاده کرد

- boiling , Condensation «تغییر فاز» «دو فاز»

3. radiation : «تابش» «احتیاج به ماده ای ندارد»

توسط امواج الکترومغناطیسی ← به خاطر تغییرات کانفیگ مداری الکترون

هر جسمی که دمای مطلق بالای صفر مطلق داشته باشد radiation دارد ← بین هم دیگر هم فرستنده امواج الکترومغناطیسی است «radiation»

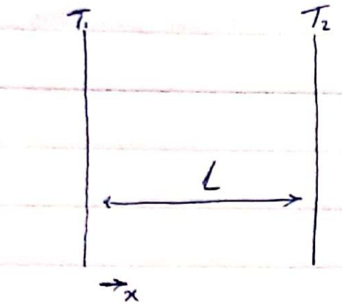
جمع بندی :

Conductivity $[\frac{W}{mK}]$ ضریب هدایت حرارتی

- Conduction شار انتقال حرارت $q''_x = -k \frac{dT}{dx}$, $Q = \frac{\text{مقدار انرژی}}{\text{زمان}}$ نرخ «rate» و مقدار انتقال حرارت $[\frac{J}{s}]$ (وات)

شار انتقال حرارت در واحد سطح = $\frac{Q}{A}$ = نرخ انتقال حرارت در واحد سطح

Steady state → Cartesian :



$q''_x = -k \frac{T_2 - T_1}{L}$ (°C or k) → اگر $T_2 < T_1$ → $T_2 - T_1 < 0$ → $-(T_2 - T_1) > 0$

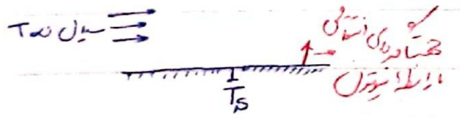
یعنی انتقال حرارت در راستای +x است، علامت q'' جهت را مشخص می کند.

- Convection شار انتقال حرارت $q'' = h(T_s - T_\infty)$ newton's low of cooling

(°C or k — جهت انتقال گرما از جسم به سیال)

h ← بستگی به سیال و نوع حرکت دارد. heat transfer Coefficient ضریب انتقال حرارت

«HTC» $[\frac{W}{m^2k}]$



Convection نمی بینیم، فرض می شود که حتما دانسته داشته باشیم بین جسم و سیال یک اختلاف دما است، بین دو سیال نیز انتقال گرما به صورت Convection رخ دهد. شده دانسته اختلاف دانسته آنها بالا باشد.

	$h[\frac{W}{m^2k}]$
- Free Convection :	
gas	2 - 25
liq	50 - 100
- Force Convection :	
gas	25 - 250
liq	50 - 20,000
- boiling - Condensation :	2500 - 100,000

- h مایعات از h گازها بیشتر است در شرایط مشابه
- h در Force Conv. بیشتر از Free Conv. در حالت کلی
- بالاترین h در تغییر فاز رخ می دهد

PAYCO

- radiation

$q'' = \varepsilon \sigma T_s^4$ → دمای مطلق

صفر و یک ← $0 < \varepsilon < 1$ emissivity ↳ Stefan-Boltzman Constant 5.67×10^{-8} $\left[\frac{W}{m^2 K^4}\right]$

↳ تابع روش ساخت و نوع ماده

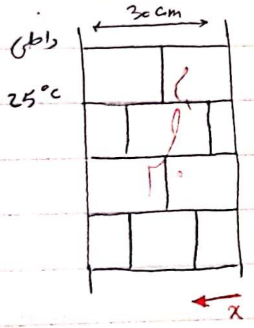
Ideal radiator : $\varepsilon = 1 \Rightarrow q'' = \sigma T_s^4$ اجسام سیاه

$q''_{out} = \varepsilon \sigma T_s^4$, $q''_{in} = \alpha \sigma T_{surr}^4$ → $\varepsilon = \alpha$ اجسام خاکستری gray $\Rightarrow q'' = \varepsilon \sigma (T_s^4 - T_{surr}^4)$

↓ ضریب نشر ↓ ضریب جذب وابسته به نوع ماده و روش ساخت

↓ برای زمانی است که تمامی انرژی تولید شده در محیط به سطح برسد

دمای کل انرژی تولید شده از سطح به محیط برگردد بدون تولید / حجم در یک محیط محصور باشد)



مثال

$q''_x = -k \frac{dT}{dx} = -(0.72) \times \frac{25-8}{(30-0)\times 10^{-2}} = -40.8 \frac{W}{m^2}$

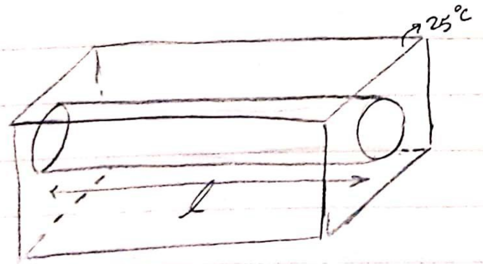
↳ ضریب انتقال حرارت آجر $\frac{W}{mK}$ ↳ از داخل به خارج خلاف محور x

انتقال سطح عمود دارد

عرض دیوار $w = 8m$, $h = 3m$

$\dot{Q} = q'' \times A = 979.2 W$ ($A = 3 \times 8$)

مثال



قطر خارج : 35 mm

$T_s = 200 °c$

$\varepsilon = 0.8 = \alpha$ = gray

$h = 15 \frac{W}{m^2 K}$

میزان اتلاف گرما به ازای واحد طول لوله ؟

سطح تابش و انتقال حرارت جابجایی

$\frac{Q}{l} = \pi D \left[\varepsilon \sigma (T_s^4 - T_{surr}^4) + h (T_s - T_{surr}) \right]$

↳ سطح جانبی ↳ دیواره ها ↳ هوا

← تابش → ← جابجایی →

$420.6 \frac{W}{m}$ $577.3 \frac{W}{m}$

- هر دمای بیشتر از 100°c تابش باید محاسبه شود. پس برای سیستم‌های حرارتی تابش صرف نظر نشد باید

Conduction : قانون حاکم : Fourier

(خروجیش برداره ← گرادیان ورودی اسکالره)

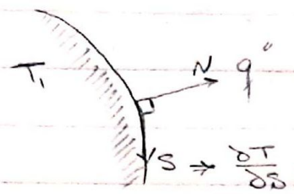
$$\vec{q''} = -k \vec{\nabla} T$$

$$\vec{\nabla} T = \frac{\partial T}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial T}{\partial y}\vec{j} + \frac{\partial T}{\partial z}\vec{k}$$

$$q'' = q''_x \vec{i} + q''_y \vec{j} + q''_z \vec{k}$$

$$q''_x = -k\frac{\partial T}{\partial x}, \quad q''_y = -k\frac{\partial T}{\partial y}, \quad q''_z = -k\frac{\partial T}{\partial z}$$

نکته: q'' در سطوح هم دما عمود است.
یعنی هیچ مولفه ای همراستا با سطح هم دما ندارد یعنی
q'' تنها عمودی می تواند باشد



$S \to \frac{\partial T}{\partial s} = 0$ در کل مسیر S هم دما است

تاثیرات T , P بر k :

شبکه جامد ← گرما = ارتعاش شبکه

- جامدات: $k = k_{latis} + k_{electron}$

فلزات : $k =$ صرف نظر $+ k_{electron}$

هرچقدر که رسانش الکتریکی فلزات تاثیرگذار است بر رسانش گرمایی فلزات نیز تاثیرگذار است.

با افزایش دما، رسانش الکتریکی فلزات کم می‌شود پس رسانش گرمایی کم می‌شود

فشار تاثیری ندارد در جامدات

غیرفلزات : $k = k_{latis}$ (صرف نظر از الکترون، نبود الکترون آزاد)

وابسته به ساختار کریستالی با افزایش دما می‌تواند افزایش یا کاهش یابد.

مثال: الماس رسانای خوبی است ، گرافیت رسانای ضعیف است. پس نقص ساختاری به شدت باعث کاهش رسانش حرارتی می‌شود

- گازها: برخورد های بین مولکولی

↑ دما ← برخورد بیشتر ، تعداد برخورد بیشتر ، گرمای بیشتر منتقل می‌شود

↑ فشار ← تعداد برخورد بیشتر ← Calition ↑
↑ فشار ← حرکت آزادانه مولکول ها سخت‌تر می‌شود ← advection ↓

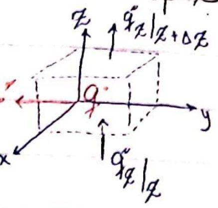
} اثر همدیگر را خنثی می‌کنند

در فشارهای متوسط 3-1 اتمسفر تاثیری بر k ندارد

- مایعات: دارای روند خاصی نیستند.

نوع	T ↑	P ↑
فلزات	k ↑	ندارد
غیرفلزات	k ↑↓	ندارد
گازها	k ↑	—
مایعات	k ↑↓	?

Conduction 8



نوشتن معادله موازنه انرژی : in + generation = out + accumulation

$$q''_z|_z \Delta y \Delta x + q''_x|_x \Delta y \Delta z + q''_y|_y \Delta x \Delta z + \dot q \Delta x \Delta y \Delta z$$

$$= q''_z|_{z+\Delta z} \Delta y \Delta x + q''_x|_{x+\Delta x} \Delta y \Delta z + q''_y|_{y+\Delta y} \Delta x \Delta z + \frac{\partial (\overbrace{\rho \Delta x \Delta y \Delta z}^{m} \times C_p \times T)}{\partial t}$$

منظور استفاده از Control Volume ← C_p ؛ که اگر از system استفاده کنیم از C_v استفاده می‌کنیم

$$\Rightarrow -\frac{(q''_z|_{z+\Delta z} - q''_z|_z)}{\Delta z} - \frac{(q''_y|_{y+\Delta y} - q''_y|_y)}{\Delta y} - \frac{(q''_x|_{x+\Delta x} - q''_x|_x)}{\Delta x} + \dot q = \frac{\partial}{\partial t}(\rho C_p T)$$

$\lim_{\Delta x, \Delta y, \Delta z \to 0}$ به شرط خواص ثابت / که خواص میانگین تخمین می‌زنیم

$$-\frac{\partial}{\partial z} q''_z - \frac{\partial}{\partial y} q''_y - \frac{\partial}{\partial x} q''_x + \dot q = \bar\rho \bar C_p \frac{\partial}{\partial t} T$$

$$q'' = -k \vec\nabla T \Rightarrow q''_x \vec i + q''_y \vec j + q''_z \vec k = -k\left(\frac{\partial T}{\partial x}\vec i + \frac{\partial T}{\partial y}\vec j + \frac{\partial T}{\partial z}\vec k\right)$$

$$\Rightarrow k\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right) + \dot q = \bar\rho \bar C_p \frac{\partial T}{\partial t}$$

$$\xrightarrow{\div k} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\dot q}{k} = \underbrace{\frac{\rho C_p}{k}}_{1/\alpha} \frac{\partial T}{\partial t}$$

$\alpha = \frac{k}{\rho C_p}$ Thermal diffusivity : $\frac{\text{Cond. گرمای منتقل شده}}{\text{گرمای ذخیره شده}}$

α هرچقدر بزرگ است

α بزرگتر ← مقدار بیشتر گرما Cond. می‌شود، مقدار کمتری ذخیره می‌شود

α کوچکتر ← مقدار کمی Cond. می‌شود، مقدار بیشتری ذخیره می‌شود

آب C_p بالایی دارد ← برای خنک کردن استفاده می‌شود

$$[\alpha] = \frac{\frac{J/s}{m\,K}}{\frac{kg}{m^3} \cdot \frac{J}{kg\,K}} = \frac{m^2}{s} \equiv [L^2 T^{-1}]$$

$$[\alpha] = [\nu] = \frac{\mu}{\rho} = \left[\frac{m^2}{s}\right]$$

در مختصات استوانه‌ای:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial T}{\partial r}+\frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}+\frac{\dot q}{k}=\frac{1}{\alpha}\frac{\partial T}{\partial t}$$

$$\begin{cases} y = r\sin\theta \\ x = r\cos\theta \end{cases}$$

$$q'' = -k\left(\frac{\partial T}{\partial r}\vec{e_r}+\frac{1}{r}\frac{\partial T}{\partial \theta}\vec{e_\theta}+\frac{\partial T}{\partial z}\vec{e_z}\right)$$

$\vec{e_r}$ ← بردار یکه در جهت r
$\vec{e_\theta}$ ← بردار یکه در جهت θ
$\vec{e_z}$ ← بردار یکه در جهت $z = \vec{k}$

$$\frac{\partial T}{\partial s}=\frac{\partial T}{r\partial \theta}$$

«مراجعه به کتاب ← مختصات کروی»

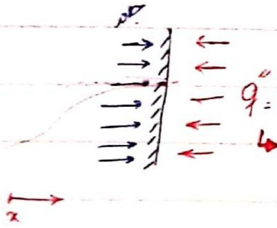
شرایط:

۱. شرط زمانی (شرط آغازین)   ۲. به ازای هر بعد دو شرط مرزی داریم

انواع شرایط:

→ «Drichlet» شرط مرزی نوع اول، $T(b,t)=T_1$: دما بستگی به مکان ندارد

→ «Neumann» شرط مرزی نوع دوم «flux»



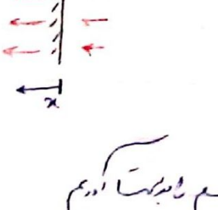
در حالت خاص $q''=0$ ← عایق
آنگاه شیب نمودار توزیع دما در مرز باید صفر باشد

$$-k\frac{\partial T}{\partial x}(b,t)+q''_{\text{محیط}}=0$$

خروجی ⇐ ۰ = ورودی + ورودی

مرز حجم ندارد ← acc=0 و تولید نداریم

→ «Convection» شرط مرزی نوع سوم



$$h(T_\infty - T(b,t)) = -k\left(\frac{\partial T}{\partial x}(b,t)\right)$$

به خاطر حجم نداشتن مرز acc=0 پس خروجی = ورودی

اهمیت توزیع دما: با داشتن توزیع دما حرارت خالص یا مقدار تبادل گرمای جسم را بدست آوریم