تمرین: در باره تشابه انتقال حرارت، الکتریسیته، جرم، ممنتوم و ... توضیح دهید.

حل مکانیزم‌های انتقال حرارت عبارتند از:

۱- هدایت (Conduction): تماس مستقیم

۲- جابجایی (Convection): جریان‌های همرفتی

۳- تشعشع (Radiation): تابش

۴ – عبور برق در سیم (Electric Current) تماس مستقیم

۵ - عبور برق در الکترولیت (Ionic Transfer) مهاجرت یونی

انتقال جرم مبتنی بر قانون فیک صورت می‌گیرد: $J=-D\frac{dC}{dx}$

که در آن J شار نفوذ، C غلظت، x مسافت نفوذ و D ضریب نفوذ ماده می باشد.

انتقال حرارت از طریق هدایت و بر اساس قانون فوریه انجام می‌شود: $\frac{\dot{q}}{A}=-k\frac{dT}{dy}$

که در آن $\frac{\dot{q}}{A}$ شار هدایت حرارت دارای بعد $\frac{\text{حرارت}}{\text{مساحت} \times \text{زمان}}$ و مشابه شار نفوذ، T دما، k ضریب رسانایی و y مسافت است.

برای تشعشع، رابطه روبرو برقرار است: $J=s\left(T_1^4-T_2^4\right)$

که در آن، s ضریب تابش است.

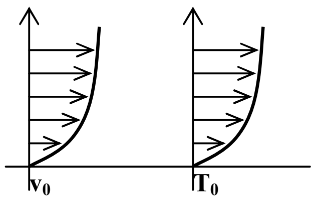
برای انتقال حرارت به طریق همرفت: $J=h\left(T_2-T_1\right)$

که در آن، h ضریب همرفتی و T_1 و T_2 به ترتیب دمای جسم گرم و دمای جسم سرد هستند.

انتقال الکتریسیته مبتنی بر قانون اهم است: $\frac{dQ}{dt}=I=\frac{\Delta\Xi}{R}$

که $\frac{dQ}{dt}$ دبی برق (شدت جریان)، $\Delta\Xi$ اختلاف پتانسیل الکتریکی و R مقاومت الکتریکی است.

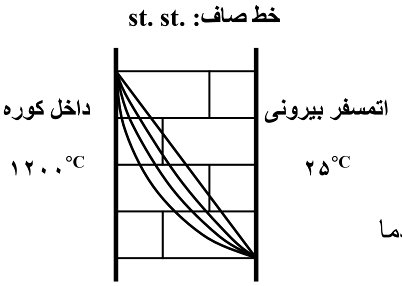
تمرین: سیال داغی از روی صفحه سردی با سرعت V_x و دمای T عبور می‌کند. شار انتقال حرارت و انتقال ممنتوم از سیال به صفحه را به صورت فرمولی بنویسید.



پاسخ: $\tau_{xy}=-\mu\frac{\partial v_x}{\partial y}$

τ_{xy} **: شار ممنتوم (یا تنش برشی)** μ **: ضریب انتقال ممنتوم (یا ویسکوزیته)**

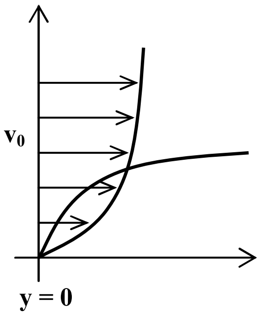
قانون اول فوریه



$$\tau_{xy} = \tau_{xy} = -\mu \frac{\partial v_x}{\partial y}, \quad \frac{\dot{q}}{A} = -k\frac{\partial T}{\partial y}$$

μ : ویسکوزیته $\frac{\partial v_x}{\partial y}$: شیب سرعت k : ضریب هدایت حرارت $\frac{\partial T}{\partial y}$: شیب دما

در حالت ثبات: $\dot{q} = 0$ و $\frac{\partial T}{\partial t} = 0$

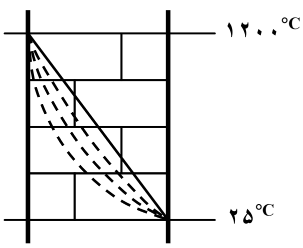


شار انتقال حرارت از طریق هدایت: $\frac{\dot{q}}{A} = -k\frac{\partial T}{\partial y}, \qquad q = mc\,\Delta T$

دبی ذخیره حرارت در یک جسم: $\dot{q} = \frac{\partial q}{\partial t} = mc\frac{\partial T}{\partial t}, \qquad m = \rho.V = \rho.A.x$

در روابط بالا t زمان، q مقدار حرارت، m جرم ماده، ρ چگالی و c گرمای ویژه می باشد.

تمرین: **ابعاد کوره موفلی ۳۰*۳۰*۳۰ cm^3، ضخامت دیواره‌های آن ۵cm، دمای داخلی آن ۱۲۰۰°C درجه و دمای محیط ۲۵°C است. این کوره در هر ساعت چند ژول حرارت تلف می‌کند؟** $\frac{\dot{q}}{A} = -k\frac{\partial T}{\partial y}, k = 0.3\ J/cm.s.K$



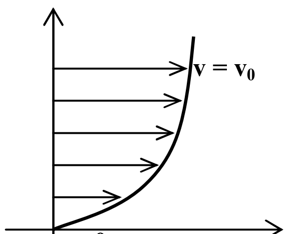
پاسخ: **اولا در حالت پایدار steady state همواره داریم** $\frac{\partial T}{\partial t} = 0$.

در تعادل، تابع دما خط راست است $\frac{\partial T}{\partial t} = -c\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0 \Rightarrow T = Ay + B \Rightarrow$

حل مساله:

$$\dot{q} = -0.3 \times \left(\frac{1200-25}{5\times10^{-2}}\right) \times 6 \times 30 \times 10^{-6} = 38.07\ J/sec$$

$$q = \dot{q} \times t = 38.07\ J/sec \times 3600\ sec = 137.052\ KJ$$



$v \neq v_0, v = \alpha v_o$

مانند آنچه در تمرین فوق دیدیم، در شرایط steady state $\frac{\partial T}{\partial t}=0$ و در نتیجه:

$$\begin{cases} k\dfrac{\partial^2 T}{\partial x^2}=0 \Rightarrow T=Ax+B \\ \dfrac{1}{r}\dfrac{\partial}{\partial r}\left(r\dfrac{\partial T}{\partial r}\right)=0 \Rightarrow T=A\ln r+B \\ \dfrac{1}{r^2}\dfrac{\partial}{\partial r}\left(r^2\dfrac{\partial T}{\partial r}\right)=0 \Rightarrow T=\dfrac{A}{r}+B \end{cases}$$

محاسبه معادله کلی هدایت

$$\dot{q}_x=-A_x k_{(T)}\frac{dT}{dx} \Rightarrow k_{(T)}dT=-\dot{q}_x\frac{dx}{A_x} \Rightarrow \int_{T_1}^{T_2}k_{(T)}dT=\int_{x_1}^{x_2}-\dot{q}_x\frac{dx}{A_x} \Rightarrow k_m(T_2-T_1)=-\dot{q}_x\int_{x_1}^{x_2}\frac{dx}{A_x}$$

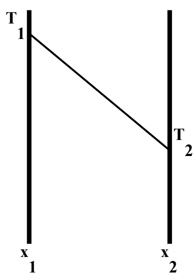
تمرین: **در انتقال گرما از یک دیواره تخت و مسطح به ضخامت d اگر دمای دیواره x_1 و x_2 ثابت و به ترتیب برابر با T_1 و T_2 باشد که $T_1>T_2$ ، و مقدار ضریب هدایت حرارتی دیواره، k ، نیز ثابت فرض شود:**

آ) نمودار شماتیک دیواره را رسم کنید.

ب) نرخ حرارت تلف شده و رابطه دما بر حسب فاصله را در این دیواره حساب کنید.

پاسخ:

آ) مطابق شکل روبرو.



ب)

$$k_m(T_2-T_1)=-\dot{q}_x\int_{x_1}^{x_2}\frac{dx}{A_x}=-\frac{\dot{q}}{A}(x_2-x_1)\Rightarrow$$

$$\dot{q}=-kA\frac{T_2-T_1}{x_2-x_1}=k\frac{A}{d}(T_1-T_2)$$

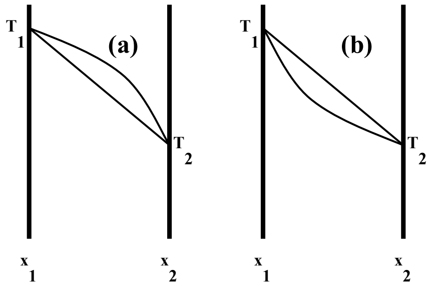
$$\dot{q}=k\frac{A}{x-x_1}(T_1-T)$$

$$T=Ax+B\Rightarrow\begin{cases}x=x_1\Rightarrow T=T_1\\ x=x_2\Rightarrow T=T_2\end{cases}\Rightarrow\left\{A=\frac{T_2-T_1}{x_2-x_1},B=T_1-\frac{T_2-T_1}{x_2-x_1}x_1\right\}\Rightarrow$$

$$T=\frac{T_2-T_1}{x_2-x_1}(x-x_1)+T_1\Rightarrow T=T_1-\frac{T_1-T_2}{d}(x-x_1)$$

تمرین: فرض کنید در تمرین قبل مقدار k در حالت اول با افزایش دما افزایش یابد و در حالت دوم با افزایش دما کاهش یابد، نمودار شماتیک را برای دو حالت رسم کنید.

پاسخ:



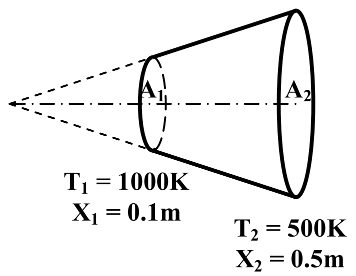
$$\dot{q} = -kA\frac{T_2 - T_1}{x_2 - x_1} \Rightarrow \frac{\dot{q}}{A} = -k\frac{\Delta T}{\Delta x}$$

حالت اول (a): می‌دانیم مقدار $\frac{\dot{q}}{A}$ باید ثابت باشد، پس با افزایش T ، k زیاد می‌شود. زیاد شدن k معادل با افزایش شیب است.

حالت دوم (b): مشابه با استدلالی که برای حالت اول آوردیم، با افزایش T، k کم می‌شود و کم شدن k مترادف با کاهش شیب است.

تمرین: در یک جسم مخروطی مطابق شکل زیر رابطه سطح مقطع با طول به صورت $A_x = ax^2$ می‌باشد. هدایت گرما فقط در راستای طولی محور مخروط صورت می‌گیرد (سطوح خارجی مخروط ایزوله حرارتی می‌باشند). اگر $a = 0.1131$ و $K_m = 5\ Wm^{-1}K^{-1}$ باشد، شار گرمایی که از مخروط در یک بعد عبور می‌کند و رابطه بین دما و x را محاسبه کنید.

پاسخ: برای محاسبه شار گرمایی داریم:



$$k_m(T_2 - T_1) = -\dot{q}_x\int_{x_1}^{x_2}\frac{dx}{A_x} = -\dot{q}_x\int_{x_1}^{x_2}\frac{dx}{ax^2} \Rightarrow$$

$$k_m(T_2 - T_1) = \frac{\dot{q}}{a}\left(\frac{1}{x_2} - \frac{1}{x_1}\right) \Rightarrow$$

$$\dot{q} = ak_m\frac{(T_1 - T_2)x_1x_2}{x_2 - x_1} = 35.34\ W$$

همچنین برای محاسبه دما بر حسب x، می‌دانیم شار تابع مکان نیست یعنی در هر نقطه x با دمای T در مقطع مورد نظر، شار یکسانی از سطح عبور می‌کند، پس می‌توان نوشت:

$$ak_m\frac{(T_1 - T_2)x_1x_2}{x_2 - x_1} = ak_m\frac{(T_1 - T)}{x - x_1}, T = T_1 - (T_1 - T_2)\frac{(x - x_1)x_2}{(x_2 - x_1)x}$$

$$T = 1000 - 500\frac{0.5(x - 0.1)}{0.4x} \Rightarrow T = 1000 - 625(1 - \frac{0.1}{x})$$

نکات مهم در تمرین قبل:

۱- قانون هدایت فوریه: $\frac{\dot{q}}{A} = -k\frac{\partial T}{\partial y}$

۲- اگر رابطه بین دما و y را بخواهیم باید در کل مسیر $\dot{q}$ را برابر بگیریم و سپس با برابر قرار دادن $\dot{q}$ در حالت x_1 و T_1 و مقطع دلخواه x و T جواب را بیابیم.

۳- دبی ذخیره حرارت در ماده: $\dot{q} = mc\frac{\partial T}{\partial t}$

۴- در حالت پایدار $(t > t_\infty)$: $\frac{\partial T}{\partial t} = 0$

۵- در حالت پایدار: $k\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = 0 \Rightarrow T = Ax + B$

۶- در زمان‌های $t > t_\infty$ داریم $\left(\frac{\dot{q}}{A}\right)_{x_A} = \left(\frac{\dot{q}}{A}\right)_{x_B}$، اما برای $t < t_\infty$ این رابطه برقرار نیست.

شیوه‌های تولید حرارت

آ) احتراق، که دو نوع است:

احتراق کامل: تمامی عناصر سوخت تا آخرین حد اکسید می‌شوند و فقط CO_2 تولید می‌شود.
احتراق ناقص: مقداری از مواد قابل اکسید شدن در سوخت باقی می‌مانند و یا همراه دود خارج می‌شوند.

شرایط برقراری احتراق کامل عبارتند از:

۱- هوا یا اکسیژن کافی موجود باشد.
۲- مقدار هوا یا اکسیژن اضافی از مقدار استوکیومتری بیشتر باشد.
۳- سوخت و هوا به خوبی در هم آمیخته شوند.

ب) اشتعال
پ) انفجار
ت) واکنش‌های شیمیایی: $Ti + Ni \rightarrow TiNi \quad , \Delta H << 0$

تمرین: حرارت حاصل از سوختن یک کیلوگرم کربن، هیدروژن یا گوگرد چقدراست؟ $(M_H = 1, M_S = 32, M_O = 16, M_C = 12)$

$C_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)} \qquad \Delta H^{298}_{f,CO_2} = -393.505\ J/mol$

$2H_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2H_2O_{(g)} \qquad \Delta H^{298}_{f,H_2O} = -241.418\ J/mol$

$$\frac{1}{2}S_{2(s)} + O_{2(g)} \rightarrow SO_{2(g)} \qquad \Delta H^{298}_{f,SO_2} = -296.813 \text{ J/mol}$$

پاسخ:

$$1\,\text{kgC} \times \frac{1000\,\text{grC}}{1\,\text{kgC}} \times \frac{1\,\text{molC}}{12\,\text{grC}} \times \frac{-393505\,\text{J}}{1\,\text{molC}} = -32792.08\,\text{kJ/kg}$$

$$1\,\text{kgH}_2 \times \frac{1000\,\text{grH}_2}{1\,\text{kgH}_2} \times \frac{1\,\text{molH}_2}{2\,\text{grH}_2} \times \frac{-241418\,\text{J}}{1\,\text{molH}_2} = -120907\,\text{kJ/kg}$$

$$1\text{kgS}\frac{1000\,\text{grS}}{1\,\text{kgS}} \times \frac{1\,\text{molS}_2}{32\,\text{grS}_2} \times \frac{-296813\,\text{J}}{1\,\text{molS}_2} = -9.3\,\text{MJ/kg}$$

انتقال حرارت در سیستم‌های ساکن (بی‌حرکت)

دما در یک سیستم وابسته به زمان و مکان است: $T = f(t,x,y,z)$

که اگر زمان را ثابت فرض کنیم داریم (توزیع دما در زمان ثابت): $T = f(x,y,z)$

برای محاسبه $\frac{q}{A}$ لازم است $T = f(x,y,z)$ را بدانیم.

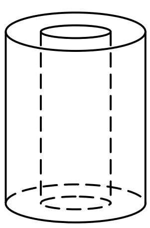
موقعیت یک نقطه را به دو شکل می‌توان گزارش کرد:

۱- مختصات کارتزین: x, y, z

۲- مختصات کروی: r, φ, θ

مثلا اگر بخواهیم در یک کره، دو تا از سه متغیر (مثلا θ و φ) را حذف کنیم، می‌توانیم دما را در سطح کره یکسان نگه داریم که در این صورت θ و φ حذف خواهند شد و دما تنها بستگی به r خواهد داشت. برای این منظور، بهترین کار استفاده از کوره القایی (Induction Furnace) است که کره را وارد مذاب می‌کند و باعث می‌شود حرارت از همه جهات وارد کره شود و به خاطر تقارن θ و φ حذف شده، تنها متغیر شعاع (r) باقی بماند.

برای عملی کردن این کار، با استفاده از میدان القایی، کره را میان مذاب نگه می‌داریم. همچنین می‌توان با جوش دادن یک لوله به کره آنرا درون مذاب فرو برد که این کار ایجاد خطا می‌کند.



تمرین: **آ) توزیع دما را برای دیواره استوانه‌ای شکل در حالت .s.s به دست آورید.**

ب) شار و دبی حرارتی از دیواره استوانه‌ای را به دست آورید.

پ) مقدار حرارت تلف شده در دیواره استوانه‌ای را به دست آورید.

پاسخ:

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial T}{\partial r}\right) = 0 \Rightarrow T = \frac{T_1 - T_2}{\ln {r_1}/{r_2}} \ln {r}/{r_2} + T_2$$

$$\dot{q} = -kA\frac{\partial T}{\partial y} = -k(2\pi r_2 l)\frac{\partial T}{\partial r} \Rightarrow \dot{q} = \frac{2\pi k_m l(T_1 - T_2)}{\ln {r_2}/{r_1}}$$

در r نامحدود:

$$k_m(T_2 - T_1) = \dot{q}_r\int_{r_1}^{r_2}\frac{dr}{A_r} = \dot{q}_r\int_{r_1}^{r_2}\frac{dr}{2\pi rl} \Rightarrow T = T_1 - (T_1 - T_2)\frac{\ln {r}/{r_1}}{\ln {r_2}/{r_1}}$$

در انتقال حرارت در دیواره استوانه‌ای مساحت سطح انتقال با افزایش شعاع افزایش می‌یابد و لذا تابعیت مقاومت حرارتی با ضخامت، مانند دیواره مسطح نیست.

مثال‌هایی از ضریب k در قانون فوریه:

۱- $k_{\text{الماس خالص}} = ۳۴۰۰ W/mK$
۲- $k_{Cu} = ۴۰۰ W/mK$
۳- $k_{\text{شیشه (تار)}} = ۰/۰۳۸ W/mK$

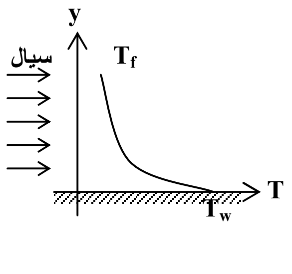
قانون نیوتن:

طبق قانون نیوتن:

$$\dot{q} = hA(T_s - T_\infty)$$

که در آن h، ضریب انتقال حرارت و تابعی است از:

۱- هندسه سطح تماس
۲- وضعیت جریان سیال
۳- خواص فیزیکی سیال



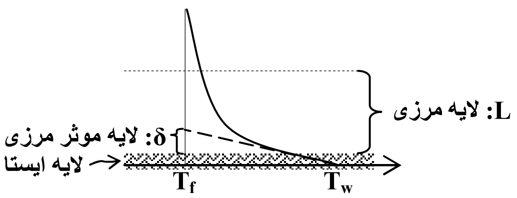
$$(*): \frac{\dot{q}}{A} = h(T_w - T_f) = -k_f\left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)_{y=0}$$

$$h = \frac{-k_f\left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)_0}{T_w - T_f}$$

توجه کنید که معادله (*) در حالت $y = 0$ برقرار است.

اگر هوا ساکن باشد، انتقال حرارت از طریق Conduction صورت می‌گیرد. اما اگر سیال حرکت داشته باشد، یک لایه از سیال که به سطح دیواره (سطح ساکن) چسبیده، به علت جذب سطحی که بین سیال و دیواره وجود دارد، حرکت ندارد (لایه ایستا).

لایه‌ها سه نوعند:



۱- لایه ایستا
۲- لایه مرزی، L
۳- لایه موثر مرزی، δ

بنابر آنچه در بالا گفته شد:

$$\frac{dT}{dy}=\frac{T_w-T_f}{\delta}$$

واحد h در رابطه فوق W/m^2K است اما معمولا به صورت کمیات بدون بعد بیان می‌شود، یعنی به صورت عدد نوسلت (Nusselt):

$$NU=\frac{hL}{k_f}\text{ Nusselt No}$$

که در آن L ضخامت لایه مرزی است.

برای مثال در جابجایی طبیعی عدد نوسلت برابر با ۲ می‌شود، اما در جابجایی اجباری این عدد مقداری بزرگتر از ۲ خواهد داشت.

تمرین: **ارتباط بین h و δ چیست؟**

پاسخ: **داشتیم:**

$$\frac{\dot{q}}{A}=h(T_w-T_f)=-k_f\left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)_{y=0},\frac{dT}{dy}\cong\left(-\frac{T_w-T_f}{\delta}\right)$$

بنابراین:

$$\Rightarrow h(T_w-T_f)=-k_f\left(-\frac{T_w-T_f}{\delta}\right)\Rightarrow h\cong\frac{k_f}{\delta}\Rightarrow\delta\cong\frac{k_f}{h}$$

بنابراین هرچه ضریب انتقال حرارت بزرگتر باشد δ کمتر است.

قبلا گفته شد که معادله کلی انتقال حرارت عبارتست از:

$$k_m(T_2-T_1)=-\dot{q}_x\int_{x_1}^{x_2}\frac{dx}{A_x}$$

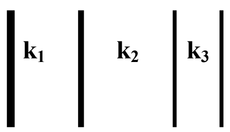
برای دیواره تخت داشتیم:

$$\dot{q}_x = -k_m A \frac{(T_2 - T_1)}{(x_2 - x_1)} = k_m A \frac{(T_1 - T_2)}{d}$$

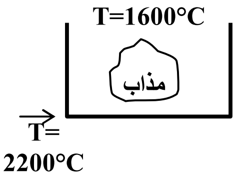
و در حالت .s.s نیز چون شار ثابت است:

$$\frac{(T_2 - T_1)}{(x_2 - x_1)} = \frac{(T - T_1)}{(x - x_1)} \Rightarrow T = T_1 - \frac{x - x_1}{d}(T_1 - T_2)$$

دیواره‌های چندلایه:



تمرین: **یک کوره با یک دیواره سه لایه تخت داریم. ضخامت دیواره‌ها به ترتیب d_1 و d_2 و d_3 و ضریب انتقال حرارت هر یک به ترتیب k_1 و k_2 و k_3 است. اگر دمای داخل کوره T_i و ضریب انتقال حرارت در کوره h_i و دمای بیرون کوره T_o و ضریب انتقال حرارت در بیرون کوره و h_o باشد، مقاومت و اتلاف حرارت را برای کوره به دست آورید.**



پاسخ: **این مسائل شباهت به مشابه الکتریکی خود دارند، مثلا برای شکل مقابل می‌توان گفت:**

$$R_{elec} = \frac{\Delta V}{I} \Rightarrow R_{therm} = \frac{\Delta T}{\dot{q}} = \frac{T_1 - T_2}{\dot{q}} = \frac{1}{k}\int_{x_1}^{x_2} \frac{dx}{A_x}$$

و به طور کلی داریم:

مقاومت هدایت حرارتی: (k : ضریب هدایت، $\frac{1}{k}$:ضریب مقاومت)

$$R_K = \frac{1}{k}\int_{x_1}^{x_2} \frac{dx}{A_x}$$

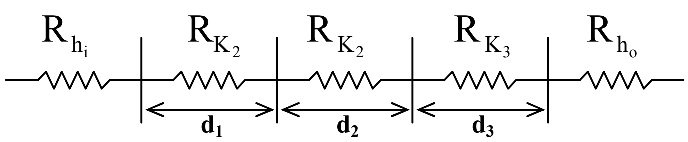
ضریب جابجایی:

$$R_h = \frac{\Delta T}{\dot{q}} = \frac{1}{hA}$$

حرارت همرفتی:

$$\dot{q} = hA\,\Delta T$$

برای حل این مساله، معادل مداری آن را در نظر می‌گیریم:



$$R_{K_1} = \frac{d_1}{K_1 A} \qquad R_{K_2} = \frac{d_2}{K_2 A} \qquad R_{K_3} = \frac{d_3}{K_3 A}$$

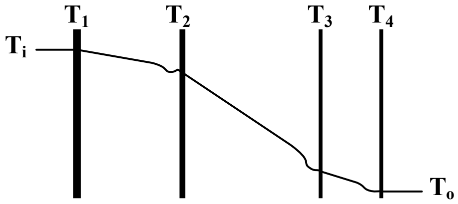
$$R_{h_i} = \frac{1}{h_i A} \qquad R_{h_o} = \frac{1}{h_o A}$$

بنابراین طبق آنچه در صفحه قبل گفته شد خواهیم داشت:

$$\frac{T_i - T_o}{\dot{q}_x} = \frac{1}{A}\left[\frac{d_1}{K_1} + \frac{d_2}{K_2} + \frac{d_3}{K_3} + \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_0}\right]$$

پس شار انتقال حرارت برابر خواهد بود با:

$$\frac{\dot{q}_x}{A} = \frac{T_i - T_o}{\left[\frac{d_1}{k_1} + \frac{d_2}{k_2} + \frac{d_3}{k_3} + \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_0}\right]}$$



پس در شرایط .s.s شیب دما در داخل دیواره به صورت مقابل خواهد بود:

و روابط زیر حاکم خواهند بود:

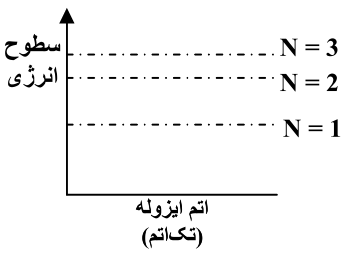
$$\dot{q}_i = h_i A(T_i - T_1) \qquad \dot{q}_1 = k_1 A(\frac{T_1 - T_2}{d_1}) \qquad \dot{q}_2 = k_2 A(\frac{T_2 - T_3}{d_2})$$

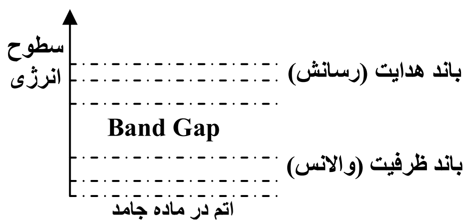
$$\dot{q}_3 = k_3 A(\frac{T_3 - T_4}{d_3}) \qquad \dot{q}_o = h_o A(T_4 - T_o)$$

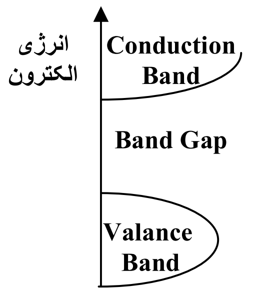
در سه نقطه‌ای که شیب دما دارای شکستگی است، خطوط (که به علت .s.s بودن راست هستند) دارای مقداری انحنا هستند که حتما باید روی شکل نشان داده شود، چون k دفعتا تغییر می‌کند.

سطوح انرژی در داخل یک ماده:

- اگر یک تک‌اتم داشته باشیم، سطوح انرژی مجزا خواهند بود.
- اگر یک مولکول داشته باشیم، سطوح انرژی به تعداد زیادی سطوح ریزتر (اوربیتال‌های مولکولی) تقسیم می‌شوند، هرچه تعداد اتم‌ها بیشتر شود این سطوح بیشتر می‌شوند. مثلا اگر یک مول اتم داشته باشیم (مثل فلزات) سطوح انرژی آنقدر زیاد می‌شوند که گویی انرژی پیوسته شده است.
- هر ماده جامد تعداد زیادی اتم و در نتیجه تعداد بسیار زیادی سطح انرژی دارد.
- اگر الکترون‌ها را در نظر بگیریم، الکترون‌هایی که فاصله زیادی نسبت به هسته دارند، گویی از اتم جدا شده‌اند.







- هر باند پهنایی دارد و ممکن است تعدادی از باندها همپوشانی داشته باشند.
- پایین‌ترین باند در عایق‌ها با بالاترین باند فاصله بسیاری دارد.
- بالاترین باند همان باند هدایت است.
- خواص نوری- الکتریکی ماده از همین موضوع نشات می‌گیرد.
- اگر به ماده ناخالصی اضافه کنیم این خواص را تحت تاثیر قرار داده‌ایم.
- هرچه فاصله Band Gap کوتاه‌تر شود، جسم هدایت بهتری از خود نشان می‌دهد.
  این موضوع در سلول‌های خورشیدی، دیودها، لیزرها و ... کاربرد دارد.
- Band Gap (BG) همان قسمتی است که الکترونی در آن وجود ندارد.
- Conduction Band (CB) و Valance Band (VB) در مواد رسانا می‌توانند با هم Overlap داشته باشند. به این ترتیب الکترون‌ها به راحتی منتقل خواهند شد.
- باند ممنوعه اگر بین ۳ تا ۵ الکترون‌ولت باشد، کوچک است و جسم نیمه‌هادی خواهد بود.
- اگر باند ممنوعه بزرگتر از ۵ الکترون‌ولت باشد، بزرگ است و جسم عایق خواهد بود.

- الکترون‌ها با استفاده از فونون و یا فوتون می‌توانند تحریک شده و به باندهای دیگر انتقال یابند.
- الکترون‌ها حامل حرارت و انرژی هستند.
- برای کم‌کردن B.G و ایجاد نیمه‌هادی‌ها، می‌توان ار افزودن ناخالصی‌ها، لایه‌سازی و ... استفاده کرد.
- با افزایش دما B.G طبق رابطه زیر کوچکتر می‌شود:

$$Eg(t) = Eg(0) - \frac{\alpha T^2}{T + \beta}$$

Eg(t) و Eg(0) به ترتیب نشان‌دهنده پهنای B.G در دمای T و دمای صفر هستند. α و β نیز ثوابت وابسته به ماده می‌باشند.