پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

انتقال حرارت (۱ و ۲)

مجموعه مهندسی شیمی

دکتر محمود میرزازاده / دکتر اشرف شفایی

مؤسسهٔ آموزش عالی آزاد پارسه

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

فصل اول انتقال حرارت: اصول، مفاهیم و مکانیزم‌های انتقال

۱ـ۱ تعریف ۹
۱ـ۲ تقسیم‌بندی انتقال حرارت از حیث محیط مادی ۹
۱ـ۳ مکانیزم‌های هدایت ۹
۱ـ۴ مکانیزم جابجایی ۱۰
۱ـ۵ تابش ۱۰
۱ـ۶ نرخ انتقال حرارت و شار انتقال حرارت ۱۱
۱ـ۷ دما ۱۱
۱ـ۸ فرمولاسیون مکانیزم‌های مختلف انتقال حرارت ۱۱
۱ـ۹ تست‌های فصل اول ۱۲
۱ـ۱۰ پاسخ تست‌های فصل اول ۱۳

فصل دوم هدایت یک بعدی و پایدار

۲ـ۱ قانون فوریه ۱۴
۲ـ۲ اشکال کیفی توزیع دما ۱۵
۲ـ۳ چشمه حرارتی ۱۶
۲ـ۴ روش‌های محاسبه شار حرارتی ۱۷
۲ـ۵ مقاومت‌های حرارتی ۱۸
۲ـ۶ ضریب کلی انتقال حرارت (u) ۱۹
۲ـ۷ شعاع بحرانی ۲۰
۲ـ۸ ترتیب عایق‌پیچی ۲۱
۲ـ۹ توزیع دما ۲۲
۲ـ۱۰ پره‌های حرارتی ۲۸
۲ـ۱۱ تست‌های فصل دوم ۳۳
۲ـ۱۲ پاسخ تست‌های فصل دوم ۳۷

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

فصل سوم هدایت چندبعدی و پایدار

۳ـ۱ بیلان انرژی هدایت پایدار در مختصات سه‌بعدی ۴۰
۳ـ۲ روش تحلیلی حل معادلات PDE ۴۱
۳ـ۳ روش ترسیمی ۴۱
۳ـ۴ روش عددی ۴۱
۳ـ۵ تست‌های فصل سوم ۴۴
۳ـ۶ پاسخ تست‌های فصل سوم ۴۶

فصل چهارم هدایت ناپایدار

۴ـ۱ مقدمه ۴۷
۴ـ۲ روش ظرفیت حرارتی فشرده ۴۷
۴ـ۳ هدایت چندبعدی در حالت ناپایدار ۴۹
۴ـ۴ روش‌های عددی در حل مسائل ناپایدار ۵۰
۴ـ۵ تست‌های فصل چهارم ۵۴
۴ـ۶ پاسخ تست‌های فصل چهارم ۵۶

فصل پنجم جابجایی اجباری

۵ـ۱ مقدمه ۵۷
۵ـ۲ معادلات پیوستگی و مومنتم ۵۸
۵ـ۳ معادله انرژی ۵۹
۵ـ۴ انتقال حرارت جابجایی اجباری برای جریان آرام سیال از روی یک صفحه افقی ۶۰
۵ـ۵ صفحه افقی با شار ثابت در دیواره و جریان آرام ۶۵
۵ـ۶ آنالوژی رینولدز ـ کلبرن ۶۵
۵ـ۷ تشابه ۶۷
۵ـ۸ جریان درهم روی صفحه افقی ۶۷
۵ـ۹ انتقال حرارت در فلزات مایع ۶۹
۵ـ۱۰ انتقال حرارت از سطوح منحنی ۷۰
۵ـ۱۱ جریان در لوله‌ها ۷۱
۵ـ۱۲ تست‌های فصل پنجم ۷۸
۵ـ۱۳ پاسخ تست‌های فصل پنجم ۸۳

فصل ششم جابجایی آزاد

۶ـ۱ مقدمه ۸۷
۶ـ۲ جابجایی آزاد در سطوح قایم ۸۷
۶ـ۳ روش ون کارمن برای حل معادلات مومنتم و انرژی در جریان آزاد ۸۹
۶ـ۴ جریان درهم اطراف صفحات قایم ۹۱
۶ـ۵ جابجایی آزاد در اطراف کره‌ها ۹۱
۶ـ۶ جابجایی آزاد از سطح مایل ۹۲
۶ـ۷ تست‌های فصل ششم ۹۳
۶ـ۸ پاسخ تست‌های فصل ششم ۹۵

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

فصل هفتم تابش حرارتی

۷ـ۱ مقدمه ۹۶
۷ـ۲ توان گسیل جسم سیاه به ازای واحد طول موج ۹۶
۷ـ۳ ضریب گسیل ۹۷
۷ـ۴ رفتار یک جسم در مقابل تابش ۹۸
۷ـ۵ ضریب شکلی ۹۸
۷ـ۶ تبادل حرارت بین اجسام غیرسیاه ۱۰۱
۷ـ۷ سپرهای حرارتی ۱۰۵
۷ـ۸ پدیده گلخانه‌ای ۱۰۶
۷ـ۹ ترموکوپل‌ها ۱۰۷
۷ـ۱۰ تست‌های فصل هفتم ۱۰۹
۷ـ۱۱ پاسخ تست‌های فصل هفتم ۱۱۲

فصل هشتم مبدل‌های حرارتی

۸ـ۱ مقدمه ۱۱۴
۸ـ۲ تقسیم‌بندی مبدل‌ها بر اساس آرایش جریان ۱۱۴
۸ـ۳ تقسیم‌بندی مبدل‌ها بر اساس ساختار مبدل ۱۱۴
۸ـ۴ ضریب کلی انتقال حرارت در مبدل ۱۱۵
۸ـ۵ محاسبات مبدل‌های حرارتی ۱۱۵
۸ـ۶ قطر معادل در محاسبات مبدل‌های حرارتی ۱۲۱
۸ـ۷ تست‌های فصل هشتم ۱۲۳
۸ـ۸ پاسخ تست‌های فصل هشتم ۱۲۵

فصل نهم آزمون‌های کلی

۹ـ۱ سوالات آزمون ۸۲ ..... ۱۲۷
۹ـ۲ پاسخ سوالات آزمون ۸۲ ..... ۱۳۱
۹ـ۳ سوالات آزمون ۸۳ ..... ۱۳۴
۹ـ۴ پاسخ سوالات آزمون ۸۳ ..... ۱۳۸
۹ـ۵ سوالات آزمون ۸۴ ..... ۱۴۱
۹ـ۶ پاسخ سوالات آزمون ۸۴ ..... ۱۴۵
۹ـ۷ سوالات آزمون ۸۵ ..... ۱۴۸
۹ـ۸ پاسخ سوالات آزمون ۸۵ ..... ۱۵۲
۹ـ۹ سوالات آزمون ۸۶ ..... ۱۵۴
۹ـ۱۰ پاسخ سوالات آزمون ۸۶ ..... ۱۵۹
۹-۱۱ سوالات آزمون ۸۷ ..... ۱۶۲
۹-۱۲ پاسخ سوالات آزمون ۸۷ ..... ۱۶۵
۹-۱۳ سوالات آزمون ۸۸ ..... ۱۶۷
۹-۱۴ پاسخ سوالات آزمون ۸۸ ..... ۱۷۰

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

فصل اول

انتقال حرارت؛ اصول، مفاهیم و مکانیزم‌های انتقال

انتقال حرارت

۱ـ۱ـ تعریف

حرارت، صورتی از انرژی است که در مرزهای یک سیستم تبادل می‌گردد، پس هر جسمی دارا یا فاقد حرارت نمی‌باشد؟

۱ـ ۲ـ تقسیم‌بندی انتقال حرارت از حیث محیط مادی

۱ـ انتقال حرارت نیازمند محیط مادی است.
- ۱ـ محیط مادی ساکن ← هدایت (conduction)
- ۲ـ محیط مادی متحرک ← جابجایی (convection)

۲ـ انتقال حرارت نیازمند محیط مادی نمی‌باشد. ← تابش (Radiation)

محیط مادی می‌تواند به یکی از صورت‌های جامد، مایع یا گاز باشد.

۱ـ ۳ـ مکانیزم‌های هدایت *(Conduction)*

۱ـ هدایت در جامدات: هدایت در جامدات به سبب دو عامل زیر انجام می‌پذیرد:

الف) ارتعاشات شبکه‌ای اعم از نوسانی، چرخشی و خطی مولکول‌های جسم جامد

ب) الکترون‌های آزاد موجود در جامدات فلزی

قابل ذکر است که سهم عامل دوم در انتقال حرارت هدایتی بیشتر است و هادی های الکتریکی، هادی های حرارتی خوبی هم هستند.

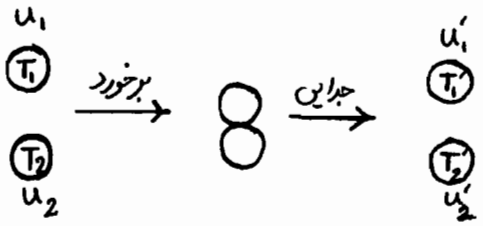
۲ـ هدایت در گازها: مکانیزم انتقال حرارت هدایتی در گازها، انتقال انرژی جنبشی است. چرا که طبق تئوری سینتیک گازها هر مولکول گاز دارای انرژی‌ای متناسب با دمای مطلق خود است. (KT)این انرژی حرارتی سبب جنبش گاز می‌شود. $\left(\frac{1}{2}mu^2\right)$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

K: ثابت بولتزمن T: دمای مطلق گاز m: جرم مولکول گاز u: سرعت جنبش گاز

بنابراین مولکول‌هایی با دماهای مختلف T_1 و T_2 دارای سرعت‌های u_1, u_2 هستند. در اثر برخوردشان انتقال مومنتم صورت می‌گیرد و سرعت‌های جدید u'_1, u'_2 خواهند بود که متناظر با دماهای جدید T'_1, T'_2 هستند. مکانیزم انتقال حرارت به واسطه انتقال انرژی جنبشی به صورت شماتیک در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل (۱ـ۱) انتقال حرارت به واسطه انتقال انرژی جنبشی در گازها

۳ـ هدایت در مایعات: مایعات را شبه گاز فرض می‌کنند. از این‌رو در مایعات هم مکانیزم هدایت، انتقال انرژی جنبشی است.

۱ـ ۴ـ مکانیزم جابجایی *(Convection)*

انتقال حرارت جابجایی، همواره با حرکت توده سیال همراه است. یعنی اگر حرکتی در سیال وجود نداشته باشد، مکانیزم انتقال حرارت در آن جابجایی نخواهد بود.

اگر $V=0$ $\rightarrow$ جابجایی نداریم

جابجایی در سیال بستگی به نوع حرکت آن سیال دارد و این مکانیزم به دو گروه تقسیم می‌گردد:

۱ـ جابجایی آزاد: حرکت سیال در این سیستم به صورت اختیاری است و حرکت سیال به واسطه وجود گرادیان دما می‌باشد.

نیروی شناوری

$\nabla T \rightarrow \nabla \rho \longrightarrow$ حرکت سیال

پس می‌توان گفت که اختلاف دما سبب ایجاد اختلاف دانسیته و در نتیجه سبب ایجاد نیروی شناوری می‌گردد. این نیرو سبب ایجاد حرکت در سیال می‌گردد. در خارج از جو زمین $g=0$، پس جابجایی وجود ندارد. مکانیزم جابجایی آزاد دارای دو شرط اساسی است:

الف) انبساط‌پذیری سیال ب) وجود جاذبه

۲ـ جابجایی اجباری: سیال در این حالت توسط وسایلی مانند پمپ، کمپرسور، پنکه و ... به صورت اجباری به حرکت در می‌آید.

۱ـ۵ تابش *(Radiation)*

حرارت توسط تابش امواج الکترومغناطیس که با سرعت نور سیر می‌کنند، انتقال می‌یابد. میزان انرژی تابشی از هر جسمی متناسب با توان چهارم دمای مطلق آن جسم می‌باشد.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پژوهه سامان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۱ـ۶ نرخ انتقال حرارت و شار انتقال حرارت

ـ **نرخ انتقال حرارت *(Q)*:** میزان انرژی انتقال یافته در واحد زمان را گویند که کمیتی اسکالر است و واحد آن $\frac{J}{sec}$ یا Wate می‌باشد.

ـ **شار انتقال حرارت *(q)*:** میزان انرژی انتقال یافته در واحد زمان از واحد سطح را گویند که کمیتی برداری است و واحد آن $\frac{J}{m^2.s}$ یا $\frac{W}{m^2}$ می‌باشد.

۱ـ۷ دما

دما مقیاسی برای تعیین سطح انرژی (نه مقدار کل انرژی) ماده است. روش‌های مختلفی برای تعیین دما وجود دارد که در ذیل به آنها اشاره می‌شود.

۱ و ۲ـ انبساط جیوه‌ای و الکلی

۳ـ ترموکوپل

۴ـ تغییر رنگ (liquid crystal) ـ با تغییر دما در این کریستال‌ها تغییر رنگ ایجاد می‌گردد. ـ

۵ـ تغییر C_p

۶ـ نقطه ذوب

۷ـ تغییر مقاومت الکتریکی $R=a+bT+cT^2$

۸ـ تعیین دما به روش طیف‌سنجی که برای اجسام بسیار دور مانند ستارگان استفاده می‌گردد.

۱ـ۸ فرمولاسیون مکانیزم‌های مختلف انتقال حرارت

۱ـ۸ـ۱ هدایت

(1-1) طبق قانون فوریه:

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

k = ضریب هدایت حرارتی $\left(\frac{W}{m^\circ C}\right)$

۱ـ۸ـ۲ جابجایی

طبق قانون سرمایش نیوتن:

(۲ـ۱)

$$Q=hA\left(T_w-T_\infty\right)$$

T_w= دمای دیواره

T_∞= دمای سیال

h= ضریب انتقال حرارت کنوکسیونی $\left(\frac{W}{m^2\,^\circ C}\right)$

۱ـ۸ـ۳ تابش

(۳ـ۱)

$$Q=\sigma AT^4$$

T = دمای مطلق جسم $\left(^\circ K\right)$، σ= ثابت استفان ـ بولتزمن $\left(5.66\times10^{-8}\frac{W}{m^2.k^4}\right)$

پژوهه سامان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۱ـ ۹ تست‌های فصل اول

۱ ـ در یک جسم جامد اگر $k \to \infty$ کدام عبارت صحیح است؟

۱) در شرایط ناپایدار گرادیان درجه حرارت یکنواخت و بزرگتر از صفر می‌باشد.
۲) در شرایط پایدار گرادیان درجه حرارت زیاد می‌شود.
۳) درشرایط ناپایدار گرادیان درجه حرارت زیاد می‌شود.
۴) در شرایط پایدار توزیع درجه حرارت یکنواخت می‌شود.

۲ ـ علت بالا بودن ضرایب هدایت بعضی از فلزات چیست؟

۱) بالا بودن گرمای ویژه فلز ۲) وجود الکترون‌های آزاد فلز ۳) بالا بودن انرژی سطحی فلز ۴) خاصیت جذبی فلز

۳ ـ اگر ضریب هدایت حرارتی بی‌نهایت بزرگ باشد چه مفهومی دارد؟

۱) $\frac{dT}{dx}=0$ ۲) عدد ثابت $=\frac{dT}{dx}$ ۳) $\frac{dT}{dx}=\infty$ ۴) $\frac{dT}{dx}=f(x)$

۴ ـ مکانیزم انتقال حرارت هدایتی در سیالات چیست؟

۱) گرادیان حرارتی ۲) حرکت بی‌نظم مولکول‌ها ۳) انتقال انرژی جنبشی ۴) ارتعاش مولکولی

۵ ـ k فلزات و k گازها با افزایش دما:

۱) k فلزات و k گازها هر دو افزایش می‌یابند.
۲) k گازها ممکن است کم یا زیاد شود ولی k فلزات کاهش می‌یابد.
۳) k گازها ممکن است کم یا زیاد شود ولی k فلزات افزایش می‌یابد.
۴) k فلزات ممکن است کم یا زیاد شود ولی k گازها افزایش می‌یابد.

۶ ـ Q انتقال حرارت و q فلاکس انتقال حرارت است. در مورد این دو می‌توان گفت:

۱) هر دو کمیتی اسکالر هستند. ۲) q اسکالر و Q برداری است.
۳) q برداری و Q اسکالر است. ۴) هر دو کمیتی برداری هستند.

۷ ـ قابلیت هدایت حرارتی آب (مایع اشباع) به چه شکلی است؟

۱) هر چه دما بالا رود بیشتر می‌شود. ۲) هر چه دما بالا رود ابتدا زیاد و بعد کم می‌شود.
۳) هر چه دما بالا رود کم می‌شود. ۴) هیچ‌کدام

۸ ـ قانون فوریه $q''_x=-k_x\left.\frac{\partial T}{\partial x}\right|_x$:

۱) را می‌توان برای سطوح سیال در حال حرکت هم به‌کار برد. ۲) برای سطوح سیال ساکن و اجسام جامد صادق است.
۳) فقط برای سطوح اجسام جامد صادق است. ۴) فقط برای سطوح اجسام جامد در حالت پایا صادق است.

۹ ـ برای اندازه‌گیری دمای اجسام بسیار دور از ..... استفاده می‌شود؟

۱) ترموکوپل ۲) از رنگ نور رسیده ۳) از شدت نور رسیده ۴) هیچ‌کدام

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

مؤسسهٔ آموزش عالی آزاد پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۱ـ۱۰ پاسخ تست‌های فصل اول

۱ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

در حالت پایدار چون Q ثابت است پس:

$$\frac{dT}{dx}=-\frac{Q}{kA}\xrightarrow[k\to\infty]{\text{اگر}}\frac{dT}{dx}=0 \quad\rightarrow\quad T=\text{const.}\ \text{(یکنواخت)}$$

در حالت ناپایدار

$$\frac{\rho C_p}{k}\frac{dT}{dt}=\frac{d^2T}{dx^2}\xrightarrow[k\to\infty]{\text{اگر}}\frac{d^2T}{dx^2}=0 \quad\rightarrow\quad \frac{dT}{dx}=C \quad\rightarrow\quad T=Cx+D$$ توزیع دما خطی است.

۲ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

۳ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$q=-k\frac{dT}{dx} \quad\Rightarrow\quad \frac{dT}{dx}=-\frac{q}{k}\xrightarrow[k\to\infty]{\text{اگر}}\frac{dT}{dx}\to 0$$

۴ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

۵ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

۶ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

۷ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

۸ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

۹ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

فصل دوم

هدایت یک بعدی و پایدار

۲ـ۱ قانون فوریه

طبق قانون فوریه، میزان حرارت مبادله شده بین دو نقطه به فاصله L و دماهای T_1 و T_2 به واسطه هدایت برابر است با:

$$Q=kA\frac{T_2-T_1}{L} \qquad (۱ـ۲)$$

که k عبارت است از: ضریب هدایت حرارتی ماده (conductivity) که بستگی به جنس ماده و دمای آن دارد. نکات مهمی در مورد ضریب هدایت حرارتی k می‌توان بیان نمود که به شرح زیر است:

۱ـ مواد از حیث مقدار K به سه دسته تقسیم می‌شوند:

الف) جسم رسانای حرارتی (k زیاد)

ب) جسم نیمه رسانا (k متوسط)

ج) عایق حرارتی (k کم)

۲ـ گازها $k <$ مایعات $k <$ جامدات مولکولی $k <$ جامدات فلزی

۳ـ K گازها متناسب با جذر دمای مطلق گاز است.

$$k\alpha\sqrt{T} \qquad (۲ـ۲)$$

$$\frac{k_2}{k_1}=\sqrt{\frac{T_2}{T_1}} \qquad (۳ـ۲)$$

۴ـ k اسفنج برابر است با:

$$k=x_1k_1+x_2k_2 \qquad (۴ـ۲)$$

k_1, k_2 به ترتیب ضرایب هدایت پلیمر و هوای محبوس در آن می‌باشند.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۵ـ $k<0$ امکان ندارد. زیرا طبق قانون فوریه:

$$q=-k\frac{\partial T}{\partial x} \qquad (۵_۲)$$

اگر $k<0$ باشد در نتیجه خواهیم داشت: $\frac{\partial T}{\partial x}>0$

و این امر غیرممکن است. زیرا این امر مستلزم انتقال حرارت از دمای پایین به دمای بالا می‌باشد که سبب نقض قانون دوم ترمودینامیک می‌گردد.

۶ـ k آب به صورت مایع اشباع با افزایش دما ابتدا افزوده و سپس کاهش می‌یابد.

۷ـ k گازها با افزایش دما همواره افزوده می‌شوند.

k جامدات عموماً با بالا رفتن دما افزایش می‌یابد ولی در مواردی نیز کاهش می‌یابد.

۸ـ اگر k با دما رابطه داشته باشد این رابطه به یکی از سه صورت زیر خواهد بود:

$k=f(T)$ {
- تابعی صعودی از دما باشد.
- مستقل از دما باشد.
- تابعی نزولی از دما باشد.

به عنوان مثال می‌توان تابعیت k از دما را به فرم‌های زیر نوشت:

$$k=k_0(1+\beta T) \qquad (۶_۲)$$

$\beta>0$ صعودی

$\beta=0$ مستقل

$\beta<0$ نزولی

$$k=k_0 T^n \qquad (۷_۲)$$

$n>0$ صعودی

$n=0$ مستقل

$n<0$ نزولی

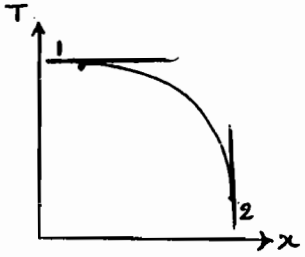
۲ـ۲ اشکال کیفی توزیع دما

در حالت پایدار (Steady State) و بدون حضور منبع حرارتی، اگر k تابع دما باشد. شکل تابعیت مکانی دما به صورت زیر است:

۱ـ k تابعی صعودی از دما باشد.

$$q=-k\frac{\partial T}{\partial x}= \text{ثابت} \qquad (۸_۲)$$

چون k تابعی صعودی از دماست پس k در نقطه 1 بیشتر از k در نقطه 2 است زیرا $T_1>T_2$ است.



شکل (۲ـ۱):توزیع دما برای k صعودی با دما

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

$$k_1 > k_2 \xrightarrow[(8-2)]{\text{طبق معادله}} \left.\frac{\partial T}{\partial x}\right|_1 < \left.\frac{\partial T}{\partial x}\right|_2$$

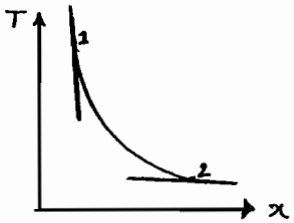
یعنی شیب مماس در نقطه 2 بیشتر از نقطه 1 است. از این‌رو انحنای منحنی مطابق شکل (۲ـ۱) است.

۲ـ k تابعی نزولی از دما باشد.

در این حالت چون k با کاهش دما افزایش می‌یابد پس:

$$k_1 < k_2 \xrightarrow[(8-2)]{\text{طبق معادله}} \left.\frac{\partial T}{\partial x}\right|_1 > \left.\frac{\partial T}{\partial x}\right|_2$$

یعنی شیب مماس در نقطه 2 کمتر از نقطه 1 است در نتیجه شکل (۲ـ۱) تغییر نموده و به صورت زیر در می‌آید.

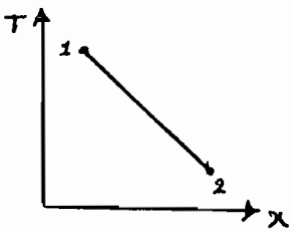


شکل (۲ـ۲): توزیع دما برای k نزولی با دما

۳ـ k مستقل از دما باشد.

$$k = \text{ثابت} \xrightarrow[(8-2)]{\text{طبق معادله}} \frac{\partial T}{\partial x} = \text{ثابت}$$

یعنی توزیع دما خطی با شیب ثابت است. مطابق شکل (۲ ـ۳):



شکل (۲ـ۳): توزیع دما برای k مستقل از دما

۲ـ۳ چشمه حرارتی $(\dot{q})$

$\dot{q}$ عبارت است از میزان انرژی تولیدی درون جسم به ازای واحد حجم آن که بر حسب $\frac{W}{m^3}$ سنجیده شده و به آن چشمه حرارتی گویند. چشمه حرارتی به روش‌های مختلفی در اجسام تولید می‌شود:

۱ـ با عبور جریان برق (RI^2) ۲ـ واکنش شیمیایی (ΔH_r) ۳ـ تغییر فاز (λ)

۴ـ انرژی هسته‌ای ۵ـ اصطکاک ۶ـ ماکرویو ۷ـ میدان مغناطیسی

* اگر در جسمی حرارت مصرف گردد آن‌گاه می‌گویند جسم دارای چاه حرارتی است.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۲ـ۴ روش‌های محاسبه شار حرارتی (q)

برای محاسبه شار حرارتی دو راه‌حل کلی وجود دارد.

* راه اول: این راه‌حل شامل مراحل زیر می‌باشد:

۱ـ المان‌گیری

۲ـ نوشتن بیلان انرژی

۳ـ به‌دست آوردن معادله دیفرانسیل

۴ـ اعمال شرایط مرزی

۵ـ حل معادله دیفرانسیل و یافتن توزیع دما

۶ـ محاسبه q از قانون فوریه (معادله ۲ ـ۵)

راه‌حل دوم: اگر شرایط پایدار (Steady state) برقرار باشد و منبع حرارتی درون جسم وجود نداشته باشد $\dot{q}=0$ می‌توان نوشت:

خروجی = ورودی (۹ـ۲)

$$Q=-kA\frac{dT}{dx}=\text{ثابت} \qquad (۱۰ـ۲)$$

در نتیجه با انتگرال‌گیری از معادله فوق مقدار q محاسبه می‌گردد:

$$Q=-\frac{\int_{T_1}^{T_2} k\,dT}{\int_{L_1}^{L_2}\frac{dx}{A}} \qquad (۱۱ـ۲)$$

مثال ۱: در صورتی‌که $k=k_0(1+bT)$ باشد. مقدار q را برای سه مختصات کارتزین، استوانه‌ای و کروی بیابید.

الف) کارتزین

$$(۱۱ـ۲) \rightarrow Q=-\frac{\int_{T_1}^{T_2} k_0(1+bT)\,dT}{\int_0^{L}\frac{dx}{A}}$$

$$=\frac{k_0 A}{L}\left[(T_1-T_2)+\frac{b}{2}\left(T_1^2-T_2^2\right)\right]$$

ب) استوانه‌ای $(A=2\pi rL)$

$$(۱۱ـ۲) \rightarrow Q=-\frac{\int_{T_1}^{T_2} k_0(1+bT)\,dT}{\int_{r_1}^{r_2}\frac{dr}{2\pi rL}}=2k_0\pi L\left[\frac{(T_1-T_2)+\frac{b}{2}\left(T_1^2-T_2^2\right)}{Ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}\right]$$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

ج) کروی $\left(A=4\pi r^2\right)$

$$(۱۱_۲) \quad \rightarrow \quad Q=-\frac{\int_{T_1}^{T_2} k_0(1+bT)dT}{\int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{4\pi r^2}} = 4k_0\pi\left[\frac{(T_1-T_2)+\frac{b}{2}\left(T_1^2-T_2^2\right)}{\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}}\right]$$

مثال ۲: در صورتی‌که مختصات کروی $k=k_0T^2$ باشد مقدار Q را محاسبه نمایید.

$$(۱۱_۲) \quad \rightarrow \quad Q=-\frac{\int_{T_1}^{T_2} k_0T^2dT}{\int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{4\pi r^2}} = 4\pi k_0\frac{T_1^3-T_2^3}{3\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right)}$$

۲ـ۵ مقاومت‌های حرارتی

در این بخش می‌توان معادله انتقال حرارت را به صورت فرمول جریان الکتریسیته بازنویسی نمود، که رابطه سه پارامتر؛ جریان، اختلاف پتانسیل و مقاومت الکتریکی در آن نشان داده شده است.

$$I=\frac{V}{R} \qquad (۱۲_۲)$$

I: جریان V: اختلاف پتانسیل R: مقاومت

نیروی محرکه در جریان الکتریکی، اختلاف پتانسیل (ΔV) می‌باشد و در انتقال حرارت این نیروی محرکه را اختلاف دما (ΔT) می‌توان معرفی نمود. و میزان حرارت منتقل شده Q را مشابه جریان الکتریکی فرض نمود پس مقاومت‌های حرارتی را می‌توان به صورت زیر نوشت:

۱ـ مقاومت هدایتی کارتزین

$$Q=\frac{\Delta T}{\frac{L}{kA}} \quad \rightarrow \quad R=\frac{L}{kA} \qquad (۱۳_۲)$$

۲ـ مقاومت هدایت استوانه‌ای

$$Q=\frac{\Delta T}{\frac{1}{2k\pi L}Ln\left(\frac{r_0}{r_i}\right)} \quad \rightarrow \quad R=\frac{Ln\left(\frac{r_0}{r_i}\right)}{2k\pi L} \qquad (۱۴_۲)$$

۳ـ مقاومت هدایتی کره

$$Q=\frac{\Delta T}{\frac{1}{4k\pi}\left(\frac{1}{r_i}-\frac{1}{r_0}\right)} \quad \rightarrow \quad R=\frac{1}{4k\pi}\left(\frac{1}{r_i}-\frac{1}{r_0}\right) \qquad (۱۵_۲)$$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۴ـ مقاومت کنوکسیونی

$$Q=\frac{\Delta T}{\frac{1}{hA}} \quad \rightarrow \quad R=\frac{1}{hA} \qquad (۱۶_۲)$$

۵ـ مقاومت تابشی

$$Q=\sigma A\left(T_1^4-T_2^4\right)=\frac{T_1-T_2}{\frac{1}{\sigma A\left(T_1^2+T_2^2\right)\left(T_1+T_2\right)}} \quad \rightarrow \quad R=\frac{1}{\sigma A\left(T_1+T_2\right)\left(T_1^2+T_2^2\right)} \qquad (۱۷_۲)$$

۶ـ مقاومت‌های سری

$R=\Sigma R_i$ معادل (۱۸ـ۲)

۷ـ مقاومت‌های موازی

$\frac{1}{R}=\Sigma\frac{1}{R_i}$ معادل (۱۹ـ ۲)

مثال ۳: از درون لوله‌ای جریانی از سیال با ضریب کنوکسیون h_i و دمای T_i عبور می‌کند و از بیرون لوله سیالی با ضریب کوکسیون h_o و دمای T_o حرکت می‌کند. ضریب هدایت دیواره لوله k و شعاع داخلی و خارجی لوله به ترتیب r_i, r_o می‌باشد. مقاومت معادل این سیستم را محاسبه کنید.

در این سیستم سه مقاومت سری وجود دارد. مقاومت کنوکسیونی لوله داخلی، مقاومت هدایت دیواره و مقاومت کنوکسیونی خارج لوله

$$(۱۶_۲) \quad \rightarrow \quad R_i=\frac{1}{h_i\left(2\pi r_i L\right)}$$

$$(۱۴_۲) \quad \rightarrow \quad R_\omega=\frac{Ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2k\pi L}$$

$$(۱۶_۲) \quad \rightarrow \quad R_o=\frac{1}{h_o\left(2\pi r_o L\right)}$$

$$(۱۸_۲) \quad \rightarrow \quad \text{معادل } R=R_i+R_\omega+R_o=\frac{1}{2\pi L}\left[\frac{1}{r_i h_i}+\frac{Ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{R}+\frac{1}{r_o h_o}\right]$$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۲ـ۶ ضریب کلی انتقال حرارت (u)

$$q=UA\Delta T=\frac{\Delta T}{R} \quad \rightarrow \quad U=\frac{1}{RA} \qquad (۲۰_۲)$$

U هم دیمانسیون با h است. $\left(\frac{W}{m^{2}\,^{\circ}K}\right)$

مثال ۴: در مثال ۳ مقدار U ضریب کلی انتقال حرارت را محاسبه کنید.

چون در لوله سطح داخلی با سطح خارجی برابر نیست پس هنگام استفاده از معادله (۲ ـ۲۰) بایستی مشخص شود که U بر مبنای کدام سطح محاسبه می‌گردد.

سطح داخلی $A_i=2\pi r_i L \quad \rightarrow \quad U_i=\frac{1}{R_i A_i}$

حال R_i از مثال ۳ در معادله فوق جایگذاری می‌شود:

$$U_i=\frac{1}{\left[\frac{1}{h_i A_i}+\frac{Ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2k\pi L}+\frac{1}{h_o A_o}\right]A_i}$$

$$U_i=\frac{1}{\frac{1}{h_i}+\left(\frac{r_i}{k}\right)Ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)+\frac{1}{h_o}\left(\frac{r_o}{r_i}\right)} \qquad (۲۱_۲)$$

سطح خارجی $A_o=2\pi r_o L \quad \rightarrow \quad u_o=\frac{1}{R_o A_o}$

$$U_o=\frac{1}{\frac{1}{h_i}\left(\frac{r_o}{r_i}\right)+\left(\frac{r_o}{k}\right)Ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)+\frac{1}{h_o}} \qquad (۲۲_۲)$$

نکته: مزیت مهم U نسبت به R آن است که U مستقل از طول لوله است.

۲ـ۷ شعاع بحرانی

استوانه‌ای با شعاع r_i توسط عایقی با ضریب هدایت k پوشانده شده است. وجه بیرونی عایق در معرض کنوکسیون محیط قرار دارد. میزان حرارت خروجی از این سیستم از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$Q=\frac{T_i-T_\infty}{\frac{1}{2k\pi L}Ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)+\frac{1}{2\pi r_o L h}} \qquad (۲۳_۲)$$

همچنان‌که مشاهده می‌گردد مقاومت حرارتی این استوانه از دو ترم تشکیل شده است. ۱ـ مقاومت هدایتی عایق و ۲ـ مقاومت کنوکسیونی محیط. با افزایش ضخامت عایق، شعاع خارجی استوانه افزایش می‌یابد و این امر باعث افزایش مقاومت هدایتی و کاهش

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

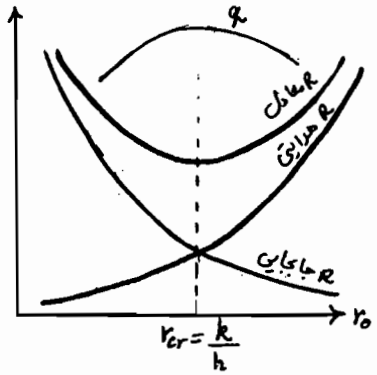
مقاومت جابجایی می‌شود پس این دو ترم دارای دو اثر معکوس می‌باشند لذا تغییرات Q بر حسب r_o (شعاع بعد از عایق‌پیچی) بایستی دارای یک نقطه ماکزیمم باشد که محل دقیق آن از معادله زیر به‌دست می‌آید:

$$\frac{dQ}{dr_o}=0 \xrightarrow{\text{در نقطه ماکزیمم}} \left(r_o\right)_{cr}=\frac{k}{h} \qquad (۲۴\text{ـ}۲)$$

در شکل زیر روند تغییرات مقاومت هدایتی، جابجایی، مقاومت کل و اتلاف حرارتی بر حسب شعاع r_o نشان داده شده است.

چند نکته مهم در مبحث شعاع بحرانی وجود دارد که بایستی به آنها توجه نمود:

۱ـ شعاع بحرانی فقط و فقط برای سیستم‌هایی که با عایق پیچی دچار تغییر سطح می‌شوند مطرح است یعنی استوانه و کره، ولی در سیستم کارتزین شعاع بحرانی بی‌معنی است.



شکل (۲ـ۴)، نمودار شعاع بحرانی در سیستم استوانه‌ای

۲ـ همواره مقاومت کل از یک نقطه می‌نیمم عبور می‌کند. یعنی با افزایش ضخامت عایق، R هدایتی همواره زیاد، R جابجایی همواره کم و R معادل ابتدا کم و سپس افزایش می‌یابد.

۳ـ شعاع بحرانی کره نیز همانند شعاع بحرانی استوانه محاسبه می‌گردد و نهایتاً می‌توان میزان آن را طبق معادله زیر به‌دست آورد.

$$r_{cr}=\frac{2k}{h} \qquad (۲۵\text{ـ}۲)$$

۴ـ شعاع بحرانی زمانی معنی دارد که مقدارش از شعاع لوله بدون عایق بیشتر باشد.

۵ـ در معادله شعاع بحرانی، k ضریب هدایت عایق و h ضریب کنوکسیون محیط است.

۶ـ اتلاف حرارت، با افزایش ضخامت عایق‌پیچی ابتدا زیاد و سپس کم می‌شود. حداکثر اتلاف حرارتی در شعاع بحرانی اتفاق می‌افتد.

$$Q_{max}=\frac{\Delta T}{R_{min}} \qquad (۲۶\text{ـ}۲)$$

۲ـ ۸ ترتیب عایق‌پیچی

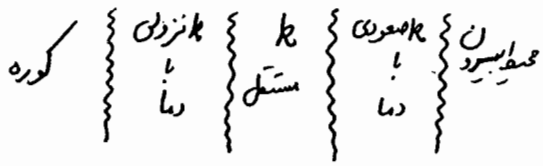
هدف از عایق‌کاری، افزایش مقاومت حرارتی سیستم و کاهش میزان اتلاف حرارت است و حداقل اتلاف حرارتی زمانی اتفاق می‌افتد که سیستم دارای حداکثر مقاومت حرارتی باشد.

همچنان‌که در مباحث قبل بیان شده است ضریب هدایت k می‌تواند تابعی از دما باشد و این امر سبب می‌گردد که میزان k متغیر باشد، در نتیجه نحوه و ترتیب قرارگیری عایق‌ها با ضرایب متفاوت k برای کاهش اتلاف حرارتی موثر خواهد بود.

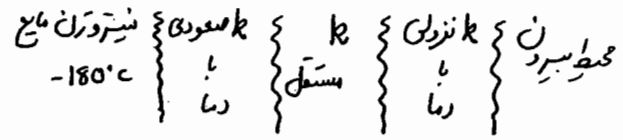
پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

اگر k تابعی صعودی از دما باشد برای حداکثر شدن مقاومت، بایستی عایق در معرض کمترین دمای موجود قرار گیرد. اما اگر k تابعی نزولی از دما باشد به منظور حداکثر شدن مقاومت، بایستی در معرض بالاترین دمای موجود در سیستم قرار گیرد. برای مثال اگر عایق پیچی کوره‌ای مدنظر باشد به ترتیب زیر بایستی عمل نمود.



و اگر محیط سردی، بایستی عایق کاری شود تا از نفوذ گرما به آن جلوگیری گردد عایق‌ها به صورت زیر قرار می‌گیرند.



سؤال دیگری مطرح می‌گردد، که اگر k عایق‌ها مستقل از دما باشند آیا باز هم نحوه قرارگیری آنها بر مقاومت کل سیستم اثر دارد یا خیر؟ ابتدا در سیستم کارتزین این موضوع مورد بررسی قرار می‌گیرد و سپس در مختصات استوانه‌ای.

الف) مختصات کارتزین

Q کلی در این سیستم از معادله زیر به‌دست می‌آید:

$$Q=\frac{\Delta T}{\frac{L}{k_1A}+\frac{L}{k_2A}+\dots} \qquad (۲۷_۲)$$

هم‌چنانکه مشاهده می‌شود، جابجایی ترم‌های موجود در مخرج کسر فوق و به‌عبارت دیگر جابجایی مقاومت‌ها در سیستم کارتزین هیچ اثری بر میزان حرارت تلف شده ندارد. پس نحوه قرارگیری عایق‌های با ضرایب هدایت مستقل از دما در سیستم کارتزین تاثیری بر میزان حرارت مبادله شده ندارد.

ب) مختصات استوانه‌ای

استوانه‌ای به شعاع r_1 توسط دو لایه عایق با ضرایب k_2, k_1 محاط شده است، که $k_1<k_2$ است. در این سیستم دو حالت می‌تواند وجود داشته باشد:

۱) ابتدا k_1 و سپس k_2 قرار گیرد. مقاومت کلی سیستم به صورت زیر می‌باشد:

$$R=\frac{\operatorname{Ln}\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2k_1\pi L}+\frac{\operatorname{Ln}\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2k_2\pi L} \qquad (۲۸_۲)$$

۲) ابتدا k_2 و بعد k_1 قرار گیرد:

$$R'=\frac{\operatorname{Ln}\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2k_2\pi L}+\frac{\operatorname{Ln}\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2k_1\pi L} \qquad (۲۹_۲)$$

در دو حالت فرض شده است که: $r_2-r_1=r_3-r_2$ (یعنی ضخامت یکسان لایه‌های عایق)

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

همچنان‌که ملاحظه می‌شود با تعویض مکان قرارگیری k_1, k_2 مقاومت معادل تغییر می‌نماید و R زمانی به حداکثر مقدار خود می‌رسد که عایق‌ها به ترتیب از k کوچک به k بزرگ قرار گیرند.

۲ـ۹ـ توزیع دما

بیلان انرژی برای هر سیستمی به صورت زیر می‌باشد:

(۲ـ۳۰) تجمع = تولید + خروجی ـ ورودی

$$in - out + gen = acc.$$

(۲ـ۳۱) اگر سیستم کارتزین باشد $T=f(x,y,z,t)$

(۲ـ۳۲) اگر سیستم استوانه‌ای باشد $T=f(r,\theta,z,t)$

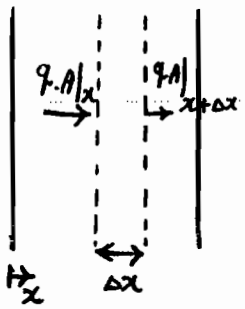
(۲ـ۳۳) اگر سیستم کروی باشد $T=f(r,\theta,\varphi,t)$

۲ـ۹ـ۱ حالت اول: انتقال حرارت هدایتی، یک‌بعدی، بدون منبع حرارتی و در حالت پایداری

برای نوشتن توزیع دما، اولین مطلب تعیین نوع مختصات است که حالت اول را می‌توان برای سه مختصات به صورت زیر نوشت.

الف) کارتزین

توزیع دما برای سیستم کارتزین روبرو که یک بعدی، پایدار و بدون منبع حرارتی است، به صورت زیر قابل بازنویسی است:



$$(۲ـ۳۰) \rightarrow qA\Big|_x - qA\Big|_{x+\Delta x} + 0 = 0$$

$$(۲ـ۵) \rightarrow q = -k\frac{\partial T}{\partial x}$$

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(kA\frac{\partial T}{\partial x}\right)=0 \qquad (۲ـ۳۴)$$

اگر k , A ثابت باشند آنگاه:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}=0 \qquad (۲ـ۳۵)$$

$$T=ax+b \qquad (۲ـ۳۶)$$

پس توزیع دما در این حالت خطی است با شیب a و عرض از مبدا b که با توجه به شرایط مرزی مسئله به‌دست می‌آیند.

ب) استوانه

$$\left.\begin{array}{l} q=-k\dfrac{\partial T}{\partial r} \\ A=2\pi rL \end{array}\right\} \xrightarrow{(30-2)} \frac{\partial}{\partial r}\left(rk\frac{\partial T}{\partial r}\right)=0 \qquad (۲ـ۳۷)$$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

با فرض $k=cte$ می‌توان به معادله زیر رسید:

$$\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial T}{\partial r}\right)=0 \qquad (۳۸_۲)$$

$$T=C_1 \ln r+C_2 \qquad (۳۹_۲)$$

ج) کره

$$\left.\begin{array}{l} q=-k\dfrac{\partial T}{\partial r} \\ A=4\pi r^2 \end{array}\right\} \xrightarrow{(30-2)} \frac{\partial}{\partial r}\left(r^2 k\frac{\partial T}{\partial r}\right)=0 \qquad (۴۰_۲)$$

$$k=cte \quad \rightarrow \quad \frac{\partial}{\partial r}\left(r^2\frac{\partial T}{\partial r}\right)=0 \qquad (۴۱_۲)$$

$$T=-\frac{C_1}{r}+C_2 \qquad (۴۲_۲)$$

مقادیر C_2, C_1 از شرایط مرزی مسئله به‌دست می‌آیند. در یک مسئله سه نوع شرط مرزی وجود دارد که عبارتند از:

الف) شرط مرزی نوع اول: در این شرط دمای جسم در مکان مشخصی معلوم است. برای مثال:

$$T(x=L)=T_1$$

ب) شرط مرزی نوع دوم: مشتق تابع در مکان خاصی داده شده باشد. برای مثال در دیوارهٔ عایق:

$$\left.\frac{\partial T}{\partial x}\right|_{x=L}=0$$

ج) شرط مرزی نوع سوم: رابطه‌ای مابین تابع و مشتق آن در مکان معلومی داده شده باشد. برای مثال در دیواره در معرض جابجایی:

$$\left.-k\frac{\partial T}{\partial x}\right|_{x=L}=h\left(T_{(x=L)}-T_\infty\right)$$

روابط مربوط به توزیع دما و معادلات دیفرانسیل در مختصات‌های کارتزین، استوانه و کره، و انتقال حرارت یک بعدی، پایدار و بدون منبع حرارتی به طور خلاصه در جدول (۲ـ۱) بیان شده است.

جدول (۲ـ۱)، خلاصه روابط هدایت یک بعدی پایدار و بدون منبع حرارتی

مختصات	معادله دیفرانسیل	توزیع دما
کارتزین	$\frac{d^2T}{dx^2}=0$	$T=ax+b$
استوانه	$\frac{1}{r}\frac{d}{dr}\left(r\frac{dT}{dr}\right)=0$	$T=C_1 \ln r+C_2$
کره	$\frac{1}{r}=\frac{d}{dr}\left(r^2\frac{dT}{dr}\right)=0$	$T=-\frac{C_1}{r}+C_2$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۲ـ۹ـ۲ حالت دوم: انتقال حرارت هدایتی یک بعدی، پایدار و به همراه منبع حرارتی

در این حالت نیز سه شرط وجود دارد:

۱ـ انتقال حرارت یک بعدی است.

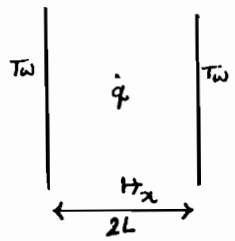
۲ـ شرط پایدار (Steady State) بر سیستم حاکم است.

۳ـ منبع حرارتی در محیط موجود است $\dot{q}\neq 0$ (این منبع حرارتی به صورت یکنواخت در سرتاسر دیواره قرار دارد)

این حالت نیز در هر سه مختصات قابل بررسی است.

الف) کارتزین

محور مختصات در این حالت در مرکز قرار می‌گیرد. بیلان انرژی برای این سیستم به صورت زیر است:



$$(۳۰_۲) \quad \rightarrow \quad qA\Big|_{x} - qA\Big|_{x+\Delta x} + \dot{q}(A\Delta x)=0 \qquad (۴۳_۲)$$

با فرض این‌که k , A مقادیر ثابتی باشند می‌توان گفت:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(k\frac{\partial T}{\partial x}\right)+\dot{q}=0 \qquad (۴۴_۲)$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\dot{q}}{k}=0 \qquad (۴۵_۲)$$

$$T=-\frac{\dot{q}x^2}{2k}+C_1x+C_2 \qquad (۴۶_۲)$$

شرایط مرزی این مسئله به صورت زیر است:

$$B.C.\begin{cases} x=0 & \dfrac{\partial T}{\partial x}=0 \quad \text{یا} \quad T=T_0 \qquad (۴۷_۲) \\ x=\pm L & T=T_w \qquad (۴۸_۲) \end{cases}$$

بنابراین توزیع دما به صورت زیر در می‌آید:

$$\frac{T-T_w}{T_0-T_w}=1-\left(\frac{x}{L}\right)^2 \qquad (۴۹_۲)$$

$$T_0-T_w=\frac{\dot{q}L^2}{2k} \qquad (۵۰_۲)$$

$$(۵_۲) \quad \rightarrow \quad q=\dot{q}x \qquad (۵۱_۲)$$

T_0 , T_w به ترتیب دماهای مرکز و دیواره جسم جامد می‌باشند.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

ب) استوانه‌ای

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial T}{\partial r}\right)+\frac{\dot{q}}{k}=0 \qquad (۵۲_۲)$$

هر گاه بیلان کلی انرژی برای یک سیستم استوانه‌ای یک بعدی، پایدار و حاوی منبع حرارتی نوشته شود و فرض شود که مقدار k ثابت است، معادله (۲ـ۵۲) حاصل می‌گردد؛ پس معادله توزیع دمای آن به صورت زیر است:

$$T=-\frac{\dot{q}r^2}{4k}+C_1 Lnr+C_2 \qquad (۵۳_۲)$$

شرایط مرزی مسئله به‌صورت زیر است:

$$B.C.\begin{cases} r=0 & \frac{\partial T}{\partial r}=0 \quad \text{یا} \quad T=T_0 \qquad (۵۴_۲) \\ r=R & T=T_w \qquad (۵۵_۲) \end{cases}$$

$$\frac{T-T_w}{T_0-T_w}=1-\left(\frac{r}{R}\right)^2 \qquad (۵۶_۲)$$

$$T_0-T_w=\frac{\dot{q}R^2}{4k} \qquad (۵۷_۲)$$

$$(5-2) \rightarrow q=\frac{\dot{q}r}{2} \qquad (۵۸_۲)$$

ج) کروی

$$\frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}\left(r^2\frac{\partial T}{\partial r}\right)+\frac{\dot{q}}{k}=0 \qquad (۵۹_۲)$$

$$T=-\frac{\dot{q}r^2}{6k}-\frac{C_1}{r}+C_2 \qquad (۶۰_۲)$$

$$B.C.\begin{cases} r=0 & \frac{\partial T}{\partial r}=0 \quad \text{یا } T=T_0 \qquad (۶۱_۲) \\ r=R & T=T_w \qquad (۶۲_۲) \end{cases}$$

$$\frac{T-T_w}{T_0-T_w}=1-\left(\frac{r}{R}\right)^2 \qquad (۶۳_۲)$$

$$T_0-T_w=\frac{\dot{q}R^2}{6k} \qquad (۶۴_۲)$$

$$(5_۲) \rightarrow q=\frac{\dot{q}r}{3} \qquad (۶۵_۲)$$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

خلاصه روابط فوق در جدول زیر آمده است:

جدول (۲ـ۲): خلاصه روابط هدایت یک بعدی، پایدار و با منبع حرارتی

مختصات	معادله دیفرانسیل	توزیع دما $\frac{T-T_w}{T_0-T_w}$	T_0-T_w
کارتزین	$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\dot{q}}{k}=0$	$1-\left(\frac{x}{L}\right)^2$	$\frac{\dot{q}L^2}{2k}$
استوانه	$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial T}{\partial r}\right)+\frac{\dot{q}}{k}=0$	$1-\left(\frac{r}{R}\right)^2$	$\frac{\dot{q}R^2}{4k}$
کره	$\frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}\left(r^2\frac{\partial T}{\partial r}\right)+\frac{\dot{q}}{k}=0$	$1-\left(\frac{r}{R}\right)^2$	$\frac{\dot{q}R^2}{6k}$

که در جدول فوق:

T_w= دمای دیواره جسم جامد　　T_0= دمای مرکز جسم جامد

k= ضریب هدایت حرارتی جسم جامد　　$\dot{q}$= تولید حرارت به ازای واحد حجم $\left(\frac{wate}{m^3}\right)$

L= نصف ضخامت دیواره　　R= شعاع کره یا استوانه

مثال ۵: اگر درون دیواره‌ای منبع حرارتی وجود داشته باشد ولی دمای طرفین آن T_1 و T_2 باشند به طوری که $T_1 \neq T_2$ در مورد محل ماکزیمم دما بحث نمایید.

از معادله (۲ ـ ۴۶):

$$T=-\frac{\dot{q}x^2}{2k}+C_1x+C_2$$

$$B.C\begin{cases}x=L & T=T_2 \quad (۶۶_۲)\\ x=-L & T=T_1 \quad (۶۷_۲)\end{cases}$$

با اعمال شرایط مرزی ضرایب C_2, C_1 به ترتیب زیر به‌دست می‌آیند:

$$C_1=\frac{T_2-T_1}{2L} \quad (۶۸_۲)$$

$$C_2=\frac{T_1+T_2}{2}+\frac{\dot{q}L^2}{2k} \quad (۶۹_۲)$$

در نقطه ماکزیمم، مشتق پروفیل دما صفر می‌شود پس می‌توان گفت:

$$\frac{dT}{dx}=0 \quad (۷۰_۲)$$

$$-\frac{\dot{q}x}{k}+C_1=0 \quad (۷۱_۲)$$

$$x_{max}=\frac{C_1k}{\dot{q}} \quad (۷۲_۲)$$

$$x_{max}=\frac{k(T_2-T_1)}{2L} \quad (۷۳_۲)$$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

حال اگر $T_2>T_1$ باشد، آن‌گاه $x_{max}>0$ می‌شود، یعنی محل دمای ماکزیمم به T_2 نزدیک‌تر است و اگر $T_2<T_1$ باشد آن‌گاه $x_{max}<0$ است پس محل دمای ماکزیمم به T_1 نزدیک‌تر است. پس به طور خلاصه می‌توان گفت:

۱ـ اگر دماهای دوطرف دیواره مساوی باشند محل دمای ماکزیمم در وسط دیواره است.

۲ـ اگر دماهای دوطرف دیواره مساوی نباشند محل دمای ماکزیمم به دیوارهٔ با دمای بالاتر نزدیک است.

اگر در دیواره به جای چشمه حرارتی، چاه حرارتی وجود داشته باشد آن‌گاه در سیستم دمای مینیمم بوجود می‌آید که مباحث فوق برای آن نیز مطرح می‌گردد. در اینجا دمای مینیمم به دمای پایین‌تر نزدیک‌تر است. (بحث به عهده خواننده)

مثال ۶: دمای ماکزیمم در یک استوانه دوجداره که در جدارهٔ آن یک منبع حرارتی وجود دارد و دمای وجوه داخلی و خارجی آن به ترتیب T_1 و T_2 می‌باشد، در چه محلی قرار می‌گیرد؟

برای بررسی محل قرارگیری دمای ماکزیمم در این حالت، بایستی معادله (۲ـ۵۳) با شرایط مرزی زیر حل شود:

$$B.C.\begin{cases} r=r_1 & T=T_1 \quad (۲ـ۷۴) \\ r=r_2 & T=T_2 \quad (۲ـ۷۵) \end{cases}$$

$$C_1=\frac{(T_1-T_2)+\frac{\dot{q}}{4k}(r_1^2-r_2^2)}{Ln\left(\frac{r_1}{r_2}\right)} \quad (۲ـ۷۶)$$

مشتق پروفیل دما به صورت زیر است:

$$\frac{dT}{dx}=-\frac{\dot{q}r}{2k}+\frac{C_1}{r} \quad (۲ـ۷۷)$$

برای ماکزیمم شدن دما بایستی $\frac{dT}{dx}=0$ پس:

$$-\frac{\dot{q}r}{2k}+\frac{C_1}{r}=0 \quad (۲ـ۷۸)$$

$$r_{max}=\sqrt{\frac{2kC_1}{\dot{q}}} \quad (۲ـ۷۹)$$

$$r_{max}=\sqrt{\frac{2k}{\dot{q}}\left[\frac{(T_1-T_2)+\frac{\dot{q}}{4k}(r_1^2-r_2^2)}{Ln\left(\frac{r_1}{r_2}\right)}\right]} \quad (۲ـ۸۰)$$

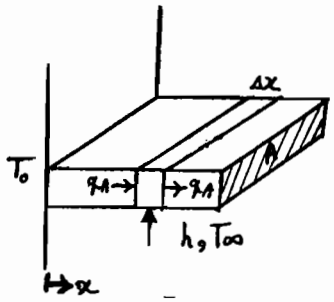
هم‌چنان‌که مشاهده می‌شود محل دمای ماکزیمم هم به T_1 و T_2 و هم به، نسبت شعاع‌ها بستگی دارد، پس نمی‌توان به طور قطع گفت که محل آن به دمای بزرگتر یا کوچکتر نزدیک‌تر است. حتی زمانی‌که $T_1=T_2$ است محل قرارگیری دمای ماکزیمم در وسط نمی‌باشد. (بررسی به عهده خواننده) برای سیستم کروی هم محل دمای ماکزیمم به نسبت شعاع‌ها و به دمای T_1, T_2 بستگی دارد.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۲ـ۱۰ پره‌های حرارتی

پره‌های حرارتی به منظور افزایش سطح تبادل حرارت استفاده می‌شوند که این امر سبب بالا رفتن میزان حرارت مبادله شده می‌گردد. در شکل زیر شمای یک پره نشان داده شده است. بیلان انرژی برای این پره به صورت زیر است:



$$qA\Big|_{x} - qA\Big|_{x+\Delta x} - hP\Delta x\left(T-T_{\infty}\right)=0 \qquad (۸۱_۲)$$

$$(۴_۲) \quad \rightarrow \quad q=-k\frac{\partial T}{\partial x} \quad , \quad A,k=cte$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}-\frac{hP}{kA}\left(T-T_{\infty}\right)=0 \qquad (۸۲_۲)$$

حال با قرار دادن $\theta=T-T_{\infty}$, $m^2=\frac{hP}{kA}$

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2}-m^2\theta=0 \qquad (۸۳_۲)$$

معادله فوق به کمک معادله مفسر حل می‌گردد و پاسخ به صورت زیر می‌شود:

$$\theta=C_1 e^{mx}+C_2 e^{-mx} \qquad (۸۴_۲)$$

برای یافتن پارامترهای C_2, C_1 دو شرط مرزی بایستی وجود داشته باشد. شرط مرزی اول عبارت است از:

$$\text{B.C.I} \quad x=0 \quad T=T_0 \quad \text{یا} \quad \theta=T_0-T_{\infty}=\theta_0 \qquad (۸۵_۲)$$

شرط مرزی دوم برای پره‌های مختلف متفاوت است و پره‌ها بر اساس این شرط مرزی طبقه بندی می‌شوند.

۲ـ۱۰ـ۱ انواع پره‌ها

الف) پره نوع اول: این نوع پره دارای طول بسیار بلندی است که این امر سبب می‌شود که دمای انتهای آن به دمای محیط برسد.

$$x=L\rightarrow\infty \qquad T=T_{\infty} \qquad \text{یا} \qquad \theta=0 \qquad (۸۶_۲)$$

ب) پره نوع دوم: در این مورد فرض می‌شود که کل هدایت رسیده به انتهای پره با عمل جابجایی از پره خارج می‌گردد.

$$x=L \qquad -k\frac{\partial\theta}{\partial x}\Big|_{x=L} = h\theta_{(x=L)} \qquad (۸۷_۲)$$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

ج) پره نوع سوم: در این پره فرض می‌شود که انتهای پره عایق است.

$$x=L \qquad \left.\frac{\partial\theta}{\partial x}\right|_{x=L}=0 \tag{۸۸_۲}$$

۲ـ۱۰ـ۲ توزیع دما در پره‌ها

معادله (۸۴_۲) به کمک شرایط مرزی (۸۵_۲)، (۸۶_۲)، (۸۷_۲) و (۸۸_۲) حل می‌شود. و پاسخ نهایی آن برای هر سه پره به صورت زیر در می‌آید:

پره نوع اول $$\frac{\theta}{\theta_0}=\exp(-mx) \tag{۸۹_۲}$$

پره نوع دوم $$\frac{\theta}{\theta_0}=\frac{\cosh m(L-x)+\frac{h}{mk}\sinh m(L-x)}{\cosh mL+\frac{h}{mk}\sinh mL} \tag{۹۰_۲}$$

پره نوع سوم $$\frac{\theta}{\theta_0}=\frac{\cosh m(L-x)}{\cosh mL} \tag{۹۱_۲}$$

۲ ـ ۱۰ـ۳ انتقال حرارت از پره

میزان حرارت منتقل شده از پره به یکی از دو روش انتگرالی یا دیفرانسیلی محاسبه می‌گردد:

$$Q=-kA\left.\frac{\partial\theta}{\partial x}\right|_{x=0}=\int_0^L hP\theta\,dx \tag{۹۲_۲}$$

پس میزان q برای هر سه حالت پره‌ها به صورت زیر می‌گردد:

نوع اول $$Q=\sqrt{hPkA}\;\theta_0 \tag{۹۳_۲}$$

نوع دوم $$Q=\sqrt{hPkA}\,\theta_0\left[\frac{\sinh mL+\frac{h}{mk}\cosh mL}{\cosh mL+\frac{h}{mk}\sinh mL}\right] \tag{۹۴_۲}$$

نوع سوم $$Q=\sqrt{hPkA}\;\theta_0\tanh mL \tag{۹۵_۲}$$

۲ـ۱۰ـ۴ راندمان پره حرارتی

راندمان پره به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$\eta=\frac{q_{actual}}{q_{Ideal}} \tag{۹۶_۲}$$

حالت ایده‌ال یک پره زمانی است که تمام پره در دمای θ_0 قرار داشته باشد، ولی در واقع در طول پره دما افت می‌کند. مقدار q ایده‌ال برابر است با:

$$q_{Ideal}=hPL\theta_0 \tag{۹۷_۲}$$

بنابراین راندمان پره‌ها را می‌توان با توجه به معادله (۹۶_۲) به صورت زیر نوشت:

نوع اول $$\eta=\frac{1}{mL} \tag{۹۸_۲}$$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

$$\eta=\frac{1}{mL}\left[\frac{\sinh mL+\frac{h}{mk}\cosh mL}{\cosh mL+\frac{h}{mk}\sinh mL}\right] \quad \text{نوع دوم} \qquad (۹۹_۲)$$

$$\eta=\frac{1}{mL}\tanh mL \quad \text{نوع سوم} \qquad (۱۰۰_۲)$$

راندمان پره‌ها متناسب‌اند با $\frac{1}{mL}$ یا $\frac{1}{L}\sqrt{\frac{kA}{hP}}$ یعنی با h نسبت عکس و با k نسبت مستقیم دارد. نکته دیگر این‌که همچنان‌که مشاهده می‌شود راندمان پره با طول آن نسبت عکس دارد ولی برای بهینه نمودن راندمان پره هیچگاه طول پره را کاهش نمی‌دهند.

۲ـ۱۰ـ۵ راندمان بودن یا نبودن پره (کارایی پره)

راندمان بودن یا نبودن، دومین راندمانی است که برای پره‌ها مطرح می‌گردد. در اینجا میزان انتقال حرارت، زمانی که پره وجود دارد را نسبت به زمانی که سطح هیچ پره‌ای ندارد می‌سنجند.

$$\eta=\frac{Q_{\text{با پره}}}{Q_{\text{بدون پره}}} \qquad (۱۰۱_۲)$$

q سطح بدون پره از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$q_{\text{بدون پره}}=hA\theta_0 \qquad (۱۰۲_۲)$$

با ترکیب معادلات (۲ـ۱۰۱) با معادلات (۲ـ۱۰۲)، (۲ـ۹۳)، (۲ـ۹۴) و (۲ـ۹۵) راندمان فوق برای پره‌ها به صورت زیر می‌باشد:

$$\eta=\sqrt{\frac{kP}{hA}} \quad \text{نوع اول} \qquad (۱۰۳_۲)$$

$$\eta=\sqrt{\frac{kP}{hA}}\left[\frac{\sinh mL+\frac{h}{mk}\cosh mL}{\cosh mL+\frac{h}{mk}\sinh mL}\right] \quad \text{نوع دوم} \qquad (۱۰۴_۲)$$

$$\eta=\sqrt{\frac{kP}{hA}}\tanh mL \quad \text{نوع سوم} \qquad (۱۰۵_۲)$$

با توجه به معادلات فوق معلوم می‌شود که راندمان بودن یا نبودن با کسر $\frac{P}{A}$ (نسبت محیط به سطح مقطع) نسبت مستقیم دارد. به همین منظور بایستی پره‌ها از لحاظ شکل ظاهری دارای محیط بزرگ و سطح مقطع کوچک باشند.

۲ـ۱۰ـ۶ راندمان کلی سطح پره‌دار

اگر روی سطحی تعدادی پره نصب شده باشد، به طوری‌که مساحت پره‌ها A_f و مساحت کل (شامل پره‌ها و فضای خالی بین پره‌ها) A_t باشد، راندمان کلی با معادله (۲ ـ۹۶) به‌دست می‌آید، با این تفاوت که در این حالت مقادیر q_{Ideal} و q_{actual} به‌صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$q_{Ideal}=hA_t\theta_0 \qquad (۱۰۶_۲)$$

$$q_{actual}=h\left(A_t-A_f\right)\theta_0+\eta h A_f\,\theta_0 \qquad (۱۰۷_۲)$$

η_f راندمان پره‌هاست. با قرارگیری مقادیر فوق در معادله (۲ـ۹۶) راندمان کلی سطح پره‌دار به صورت زیر می‌شود:

$$\eta_t=1-\frac{A_f}{A_t}\left(1-\eta_f\right) \qquad (۱۰۸_۲)$$

مثال ۷: اگر در یک سطح پره‌دار مساحت پره‌ها $1m^2$ و مساحت کلی سطح $2m^2$ باشد و راندمان هر پره 90 درصد باشد راندمان کلی سطح را محاسبه کنید.

$$(۱۰۸_۲) \quad \rightarrow \quad \eta_t=1-\frac{1}{2}(1-0.9)=0.95$$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۲ ـ ۱۰ـ۷ تئوری هارپر و براون

هر گاه نوع پره در مسئله‌ای مشخص نباشد، برای مشخص نمودن نوع پره به ترتیب زیر عمل می‌شود:

۱ـ طول پره از L به L_c که در زیر آمده است تغییر می‌کند.

$$L_c = L + \frac{A}{P} \qquad (۱۰۹_۲)$$

L= طول واقعی پره A= سطح مقطع پره P= محیط پره

۲ـ پره، پره نوع سوم (انتها عایق) فرض می‌شود.

۳ـ حال تمام روابط پره نوع سوم برای این پره با طول L_c (طول مجازی) صادق می‌باشد.

مثال ۸: مقدار L_c را برای پره‌های استوانه‌ای و مکعبی محاسبه کنید.

استوانه‌ای

$$(۱۰۹_۲) \rightarrow L_c = L + \frac{A}{P} = L + \frac{\pi \frac{D^2}{4}}{\pi D} = L + \frac{D}{4}$$

مکعبی

$$L_c = L + \frac{A}{P} = L + \frac{wz}{2(w+z)} \xrightarrow{w>>z} L_c = L + \frac{z}{2}$$

D= قطر پره استوانه‌ای Z =: ضخامت پره مکعبی

۲ـ۱۰ـ۸ پره نوع چهارم

در این نوع پره دمای انتهای پره (در طول محدود) برابر دمای محیط می‌گردد. پس شرط مرزی دوم به فرم زیر تعریف می‌شود:

$$\theta(x=L)=0 \qquad (۱۱۰_۲)$$

با اعمال این شرط مرزی معادله توزیع دما به صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$\theta = C_1 e^{mx} + C_2 e^{-mx} \qquad (۱۱۱_۲)$$

$$\frac{\theta}{\theta_0} = \frac{\sinh m(L-x)}{\sinh mL} \qquad (۱۱۲_۲)$$

$$\eta = \frac{1}{mL} \coth mL \qquad (۱۱۳_۲)$$

$$q = \sqrt{hPAk}\,\theta_0 \coth mL \qquad (۱۱۴_۲)$$

مثال ۹: یک پره استوانه‌ای به قطر 0.5 اینچ در اختیار داریم. دو نقطه A , B به فاصله 6 اینچ روی این پره وجود دارند که دمای آنها به ترتیب $342\ ^\circ F$ و $227\ ^\circ F$ می‌باشند، ضریب هدایت پره را بیابید. اگر $h = 5 \frac{Btu}{hr.ft^{2\circ}F}$ محیط و دمای محیط $70^\circ F$ باشد.

پره نوع اول:

$$\frac{\theta_A}{\theta_0} = \exp(-mx_A)$$

$$\frac{\theta_B}{\theta_0} = \exp(-mx_B)$$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

θ_0 در مسئله مشخص نمی‌باشد، پس برای حذف این پارامتر، معادلات فوق بر هم تقسیم می‌شوند و سپس از معادله حاصله لگاریتم گرفته می‌شود:

$$\frac{\theta_A}{\theta_B}=\frac{\exp(-mx_A)}{\exp(-mx_B)}=\exp m(x_B-x_A)$$

$$\text{Ln}\frac{\theta_A}{\theta_B}=m(x_B-x_A) \quad \rightarrow \quad \sqrt{\frac{hP}{kA}}=2.75 \quad \rightarrow \quad k=398.34\frac{Btu}{hr.ft^\circ.F}$$

مثال ۱۰: دو پره در تمام شرایط به جز جنس یکسان هستند و به یک صفحه داغ به دمای $100^\circ C$ وصل شده‌اند. اگر در فاصله مساوی از پایه دو پره دما $75^\circ C$ و $65^\circ C$ و دمای محیط $25^\circ C$ باشد و $k_A=200\frac{w}{m^\circ C}$ حال مقدار $k_B=?$ را محاسبه نمایید.

$$\frac{\theta_A}{\theta_0}=\exp(-m_A x_A) \quad \rightarrow \quad \text{Ln}\frac{\theta_A}{\theta_0}=-m_A x_A$$

$$\frac{\theta_B}{\theta_0}=\exp(-m_B x_B) \quad \rightarrow \quad \text{Ln}\frac{\theta_B}{\theta_0}=-m_B x_A$$

با تقسیم روابط فوق و فرض $x_A=x_B$ مقدار k_B به ترتیب زیر محاسبه می‌شود.

$$\frac{\text{Ln}\left(\frac{\theta_A}{\theta_0}\right)}{\text{Ln}\left(\frac{\theta_B}{\theta_0}\right)}=\frac{m_A}{m_B}=\frac{\left(\sqrt{\frac{hp}{kA}}\right)_A}{\left(\sqrt{\frac{hP}{kA}}\right)_B}=\sqrt{\frac{k_B}{k_A}} \quad \rightarrow \quad k_B=0.42k_A$$

در انتها بایستی به چند نکته مهم در مورد پره‌های حرارتی اشاره نمود:

۱ـ پره‌ها در محیط‌هایی با h پایین به کار می‌روند.

۲ـ پره‌ها بایستی دارای k بالایی باشند از این‌رو از مواد رسانایی مانند مس و آلومینیوم ساخته می‌شوند.

۳ـ شرط تساوی دمایی در پره‌ها تساوی mL های آنهاست.

۴ـ راندمان پره‌ها هیچ‌گاه با طول بهینه نمی‌شود.

۵ـ دلیل اصلی استفاده از پره‌ها ازدیاد سطح انتقال حرارت است.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۲ـ۱۱ تست‌های فصل دوم

۱ ـ برای بالا بردن انتقال حرارت بین سیال I و سیال II در شرایط

سیال I	سیال II	
T_I	T_{II}	$T_I > T_{II}$
h_I	h_{II}	$h_I < h_{II}$

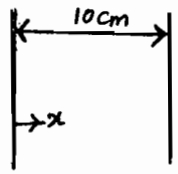
صفحه جداکننده

۱) پره در طرف I قرار می‌گیرد.
۲) پره در طرف II قرار می‌گیرد.
۳) در این شرایط وجود پره تاثیر چندانی ندارد.
۴) هیچ‌کدام

۲ ـ استوانه توخالی لوله‌ای شکل به طول L به شعاع داخلی r_1 و شعاع خارجی r_2 که درجه حرارت سطح داخلی و خارجی آن به ترتیب t_1 و t_2 می‌باشد، مفروض است. در صورتی‌که سطح داخلی آن A_1 و مساحت سطح خارجی آن A_2 باشدکدام یک از حالات زیر صادق است؟

۱) $q=\frac{kA}{m}\frac{\Delta t}{\Delta r}$
۲) $q=k\frac{A_2-A_1}{Ln\frac{A_2}{A_1}}\frac{t_1-t_2}{r_2-r_1}$
۳) $q=\frac{2\pi Lk(r_2-r_1)}{Ln\frac{r_2}{r_1}}\frac{t_1-t_2}{r_2-r_1}$
۴) همه موارد

۳ ـ در شکل زیر توزیع درجه حرارت در جسم جامدی با ضریب هدایت حرارتی $k=40\frac{w}{m^\circ C}$ از رابطه $T=50+0.5x^2$ که در آن x بر حسب متر و T بر حسب $^\circ C$ است پیروی می‌کند، چنانچه این جسم در محیطی با دمای $30^\circ C$ قرار گیرد، شار حرارتی از جسم به محیط درحالت پایا کدام یک از مقادیر زیر خواهد بود؟

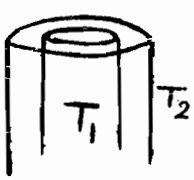


۱) $q=2\frac{w}{m^2}$
۲) $q=400\frac{w}{m^2}$
۳) $q=200\frac{w}{m^2}$
۴) $q=4\frac{w}{m^2}$

۴ ـ دو میله طویل آلومینیومی $k_1=200\frac{w}{m^\circ C}$ و آهنی $k_2=50\frac{w}{m^\circ C}$ با قطر یکسان به دیواره‌ای با دمای پایه T_w متصل هستند. دمای میله آلومینیومی به فاصله L_1 با دمای میله آهنی با فاصله L_2 از پایه با هم برابر است. رابطه بین L_2, L_1 به چه صورت است؟

۱) $L_1 > L_2$
۲) $L_1 = L_2$
۳) $L_1 < L_2$
۴) هیچ‌کدام

۵ ـ در فضای بین دو لوله هم محور مایعی با حرکت لایه‌ای (آرام) جریان دارد. اگر در داخل مایع واکنش گرمازایی صورت گیرد و دمای جداره لوله داخلی T_1 و خارجی T_2 باشد و $T_1 < T_2$: آنگاه:

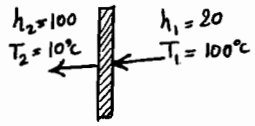


۱) دمای ماکزیمم سیال به سمت جداره داخلی گرایش دارد.
۲) دمای ماکزیمم سیال به سمت جداره خارجی گرایش دارد.
۳) دمای ماکزیمم سیال در وسط دو جداره قرار دارد.
۴) محل دمای ماکزیمم بستگی به نسبت شعاع‌ها دارد.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۶ـ ورقه نازکی از جنس مس دو محیط با شرایط زیر را از هم جدا می‌کند، دمای ورقه مسی در حالت پایا چقدر است؟



۱) $15^\circ C$

۲) $25^\circ C$

۳) $45^\circ C$

۴) $55^\circ C$

۷ـ دمای دوطرف دیواری T_0 و T_1 است. برای ضریب رسانش دیوار سه حالت می‌توان در نظر گرفت:

الف) ثابت $k_1 = k_0$ ب) $k_2 = k_0(1+\alpha T)$ ج) $k_3 = k_0(1-\alpha)$

انتقال گرما بر اساس کدام ضریب بیشتر است؟

۱) $q_2 > q_1 > q_3$ ۲) $q_2 = q_3 > q_1$ ۳) $q_3 > q_1 > q_2$ ۴) $q_1 > q_2 > q_3$

۸ـ یک مخزن کروی شکل که حاوی آب در دمای 98 درجه سانتی‌گراد می‌باشد، در معرض هوای 20 درجه سانتی‌گراد قرار گرفته است. موثرترین مقدار برای افزایش انتقال حرارت از این مخزن کدام روش است؟

۱) افزایش ضریب هدایتی مخزن به ضخامت 10 میلی‌متر از $30\frac{W}{m^\circ C}$ به دو برابر

۲) افزایش ضریب انتقال حرارت در داخل مخزن با به هم زدن از $2000\frac{W}{m^{2\circ}C}$ به $4000\frac{W}{m^{2\circ}C}$

۳) افزایش ضریب انتقال حرارت هوا از $10\frac{W}{m^{2\circ}C}$ به دو برابر

۴) کاهش ضخامت دیواره مخزن از 10 میلی‌متر به 5 میلی‌متر

۹ـ جسم کروی به شعاع r با تولید انرژی داخلی $\dot{q}\left(\frac{W}{m^3}\right)$ دارای پوسته‌ای به شعاع 2r است و در محیطی به دمای T_∞ و ضریب انتقال حرارت h قرار دارد. دمای سطح خارجی پوسته برابر است با:

۱) $T_\infty + r\dot{q}\frac{(k_1+k_2)}{4hk_1k_2}$ ۲) $T_\infty + \frac{r\dot{q}}{12\,Ln\,r}$ ۳) $T_\infty + \frac{r^2\dot{q}}{4h}$ ۴) $T_\infty + \frac{r\dot{q}}{12h}$

۱۰ـ راندمان پره چه هنگام حداکثر خواهد شد؟

۱) در نوک پره شرایط جابجایی برقرار باشد.

۲) نوک پره عایق باشد.

۳) طول پره به سمت بی‌نهایت میل کند.

۴) طول پره به سمت صفر میل کند.

۱۱ـ در عایق‌بندی لوله‌ها شعاع بحرانی به صورت $r_{crit} = \frac{k}{h}$ تعریف می‌شود این شعاع بیانگر این مطلب است که:

۱) شعاع بحرانی باید از شعاع لوله بیشتر باشد.

۲) شعاع بحرانی باید از شعاع لوله کوچکتر باشد و با افزایش عایق‌بندی به شعاع بحرانی می‌توان رسید.

۳) مادامی که شعاع عایق‌کاری کمتر از r_{crit} باشد، اتلاف حرارت با افزایش عایق‌بندی افزایش می‌یابد.

۴) مادامی که شعاع عایق‌کاری بیشتر از r_{crit} باشد، اتلاف حرارت با افزایش عایق‌بندی افزایش می‌یابد.

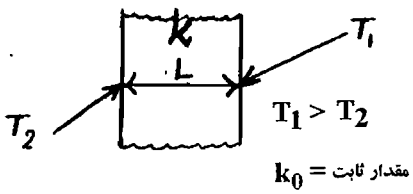
پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۱۲ ـ دیواره‌ای مسطح، کوره‌ای را از محیط جدا می‌کند. گرادیان دما در دیواره ثابت است. اگر ضخامت دیواره را دو برابر کنیم، شار حرارت انتقالی از دیواره:

۱) ثابت می‌ماند. ۲) نصف می‌شود. ۳) دو برابر می‌شود. ۴) $\sqrt{2}$ برابر کاهش می‌یابد.

۱۳ ـ دیواره‌ای به ضخامت L دارای دمای ثابت T_1 و T_2 در دو طرف می‌باشد. اگر ضریب هدایت حرارتی آن به صورت $k=k_0 T^2$ باشد، میزان انتقال حرارت حالت پایدار به ازای واحد سطح آن چقدر است؟



۱) $q=\frac{k_0\left(T_1^3-T_2^3\right)}{L}$

۲) $q=\frac{k_0\left(T_1^3-T_2^3\right)}{3L^2}$

۳) $q=\frac{k_0\left(T_1^3-T_2^3\right)}{2L}$

۴) $q=\frac{k_0\left(T_1^3-T_2^3\right)}{3L}$

۱۴ ـ استوانه توپری به شعاع α و طول L وجود دارد که در آن تولید حرارت در واحد حجم q را داریم. در حالت یکنواخت حرارت خروجی از وجوه جانبی برابر است با:

۱) $2\pi\alpha^2 Lq$ ۲) $\pi\alpha^2 Lq$ ۳) $\frac{4\pi\alpha^3}{3}Lq$ ۴) $2\pi\alpha Lq$

۱۵ ـ میله‌ای فلزی به طول L با k مشخص در جهت شعاعی ایزوله شده است. دوطرف میله به دو منبع حرارتی با دمای ثابت وصل است، معادله انرژی در حالت پایدار کدام است؟

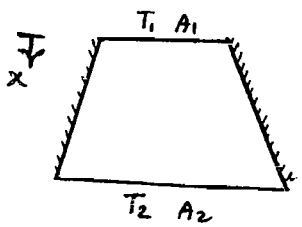
۱) $\frac{\partial T}{\partial t}+V\frac{\partial T}{\partial z}=\frac{1}{\alpha}\left(\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial T}{\partial r}\right)\right)$

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

۳) $\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial T}{\partial r}\right)+\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}=0$

۴) $\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}=0$

۱۶ ـ در مخروط ناقص مطابق شکل روبرو طرفین مخروط عایق‌بندی شده است و k آن ثابت است. با فرض $T_2<T_1$ کدام جمله صحیح است؟



۱) با افزایش x: q_x، $\frac{dT}{dx}$ ثابت می‌ماند.

۲) با افزایش x: q_x، $\frac{dT}{dx}$ کاهش می‌یابد.

۳) با افزایش x: q_x کاهش و $\frac{dT}{dx}$ ثابت می‌ماند.

۴) با افزایش x: q_x و $\frac{dT}{dx}$ هر دو کاهش می‌یابند.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۱۷ ـ دمای یک گاز بر حسب درجه سانتی‌گراد دو برابر می‌شود ضریب هدایت گاز:

۱) $\sqrt{2}$ برابر می‌شود. ۲) $\frac{1}{\sqrt{2}}$ برابر می‌شود. ۳) 2 برابر می‌شود. ۴) کمتر از $\sqrt{2}$ می‌شود.

۱۸ ـ یک صفحه فلزی در هوا به صورت طبیعی خنک می‌شود. قدرمطلق گرادیان دما در سطح مشترک فلز و هوا:

۱) در فلز زیادتر از هواست.

۲) در هوا زیادتر از فلز است.

۳) بسته به ضریب انتقال حرارت ممکن است در هوا کمتر باشد.

۴) بسته به اختلاف دمای فلز و هوا ممکن است در هوا کمتر باشد

۱۹ ـ معادله دیفرانسیل توزیع دما در مخروط ناقص که قطر دو قاعده آن D_2 و D_1 و طول آن L می‌باشد، کدام است؟

۱) $\frac{d^2T}{dx^2}+\frac{1}{x}\frac{dT}{dx}=0$ ۲) $\frac{d^2T}{dx^2}+\frac{2}{x}\frac{dT}{dx}=0$ ۳) $\frac{d^2T}{dx^2}+\frac{d^2T}{dy^2}=0$ ۴) $\frac{d^2T}{dx^2}+2x\frac{dT}{dx}=0$

۲۰ ـ برای ضریب انتقال تابشی قابلیت h_r با دما چگونه است؟

۱) $h_r \alpha T$ ۲) $h_r \alpha T^2$ ۳) $h_r \alpha T^3$ ۴) $h_r \alpha T^4$

۲۱ ـ با توجه به این‌که جسمی که k کمتری داشته باشد عایق خوبی است آیا با پیشرفت امکان ساخت ماده‌ای با $K<0$ وجود دارد؟

۱) خیر ـ زیرا ابر رساناها در دمای معمولی ساخته نشده‌اند.

۲)خیر ـ زیرا قانون دوم ترمودینامیک نقض می‌شود.

۳) بله ـ بعضی از سرامیک‌های جدید دارای چنین خاصیتی هستند.

۴) بله ـ امکان‌پذیر است و پیشرفت‌های خوبی در این زمینه شده است.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۲ـ۱۲ پاسخ تست‌های فصل دوم

۱ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

پره در محیط با h کم دارای راندمان بالاتری است.

۲ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$q=\frac{\Delta T}{R}\quad,\quad R=\frac{Ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2k\pi L}\quad,\quad A_1=2\pi r_1 L\quad,\quad A_2=2\pi r_2 L$$

$$R=\frac{Ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2k\pi L}.\frac{(r_2-r_1)}{(r_2-r_1)}=\frac{Ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{k(A_2-A_1)}.(r_2-r_1)$$

۳ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$q=k\frac{dT}{dx}=h(T_w-T_\infty)\quad,\quad \frac{dT}{dx}=2\times0.5x$$

$$=40\times(2\times0.5\times0.1)=h\left[\left(150+0.5\times0.1^2\right)-30\right]\quad\Rightarrow\quad q''=4\frac{w}{m^2}\quad,\quad h=0.2\frac{w}{m^2\,^\circ C}$$

۴ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$\frac{\theta}{\theta_0}=\exp(-mL)\quad,\quad m=\sqrt{\frac{hP}{kA}}$$

شرط تساوی دما، تساوی mL هاست.

$$m_1L_1=m_2L_2$$

$$\frac{L_1}{L_2}=\frac{m_2}{m_1}=\sqrt{\frac{k_1}{k_2}}=\sqrt{\frac{200}{50}}=2\quad\rightarrow\quad L_1=2L_2$$

۵ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

در متن درس توضیح داده شده است که محل دمای ماکزیمم به نسبت شعاع‌ها بستگی دارد.

۶ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$h_1(T_1-T_w)=h_2(T_w-T_2)\quad\Rightarrow\quad 200(100-T_w)=100(T_w-10)\quad\rightarrow\quad T_w=25^\circ C$$

۷ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$k_2>k_1>k_3\quad\rightarrow\quad q_2>q_1>q_3$$

۸ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$R=\frac{1}{h_iA_i}+\frac{1}{4k\pi}\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right)+\frac{1}{h_oA_o}$$

چون h_i و k بزرگتر از h_o هستند و مقاومت کنوکسیون بیرون بیشتر است پس باید این مقاومت کاهش یابد.

۹ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$\dot{q}\times\frac{4}{3}\pi r^3=h\left[4\pi(2r^2)\right](T_w-T_\infty)$$

$$T_w=T_\infty+\frac{\dot{q}r}{12h}$$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۱۰ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

راندمان پره نسبت به طول بهینه نمی‌شود. (به متن درس مراجعه شود)

۱۱ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

۱۲ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

چون گرادیان دما ثابت است بنابراین Q ثابت می‌ماند (هر چند که L دو برابر شود)

۱۳ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$q=\frac{-\int_{T_1}^{T_2} k_0 T^2 dT}{\int \frac{dx}{A}} \rightarrow \frac{q}{A}=\frac{k_0\left(T_1^3-T_2^3\right)}{3L}$$

۱۴ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$\dot{q}\times V=\dot{q}\pi\alpha^2 L$$

۱۵ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

چون میله در راستای شعاعی ایزوله است لذا فقط هدایت در راستای z داریم از طرفی چون مسئله $steady-state$ است پس ترم $\frac{\partial T}{\partial t}$ هم نداریم.

۱۶ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$q_x=\frac{Q}{A}=-k\frac{dT}{dx}$$

با افزایش A , x زیاد می‌شود پس q_x کاهش می‌یابد در نتیجه $\frac{dT}{dx}$ هم کاهش می‌یابد.

۱۷ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$t_2=2t_1 \quad , \quad \frac{k_2}{k_1}=\sqrt{\frac{t_2+273}{t_1+273}}$$

۱۸ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$k\left|\frac{dT}{dx}\right|_{\text{فلز}}=k\left|\frac{dT}{dx}\right|_{\text{هوا}}$$

$$k_{\text{فلز}}>k_{\text{هوا}} \rightarrow \left|\frac{dT}{dx}\right|_{\text{هوا}}>\left|\frac{dT}{dx}\right|_{\text{فلز}}$$

۱۹ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$D=ax+b \quad , \quad A=\frac{\pi D^2}{4} \rightarrow A\sim x^2 \rightarrow \frac{d}{dx}\left(x^2\frac{dT}{dx}\right)=0$$

۲۰ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

۲۱ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

فصل سوم

هدایت چندبعدی و پایدار

در این فصل به بررسی معادلات دیفرانسیل هدایت چند بعدی و پایدار پرداخته می‌شود. و روش‌های حل معادلات دیفرانسیل حاصله ارائه می‌گردد.

۳ـ۱ بیلان انرژی هدایت پایدار در مختصات سه بعدی

برای المانی به ابعاد Δx، Δy، Δz بیلان انرژی به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$q_x A_x\Big|_x - q_x A_x\Big|_{x+\Delta x} + q_y A_y\Big|_y - q_y A_y\Big|_{y+\Delta y} + q_z A_z\Big|_{z+\Delta z} - q_z A_z\Big|_{z+\Delta z} = 0 \qquad (۱_۳)$$

با جایگذاری مقادیر زیر در معادله بالا و نیز به سمت صفر میل دادن مقادیر Δx، Δy، Δz معادله (۳ ـ۵) حاصل می‌گردد:

$$A_x = \Delta y.\Delta z \quad , \quad q_x = -k\frac{\partial T}{\partial x} \qquad (۲_۳)$$

$$A_y = \Delta x.\Delta z \quad , \quad q_y = -k\frac{\partial T}{\partial y} \qquad (۳_۳)$$

$$A_z = \Delta x.\Delta y \quad , \quad q_z = -k\frac{\partial T}{\partial z} \qquad (۴_۳)$$

$$\frac{\partial T^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0 \quad , \quad T = f(x,y,z) \qquad (۵_۳)$$

معادله دیفرانسیل فوق یک معادله دیفرانسیل با مشتقات جزئی است (PDE) که حل آن با یکی از چهار روش زیر امکان‌پذیر است:

۱) روش تحلیلی
۲) روش ترسیمی
۳) روش عددی
۴) روش مشابه‌سازی با الکتریسیته

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۳ـ ۲ـ روش تحلیلی حل معادلات *PDE*

اصولاً برای حل معادلات با مشتقات جزئی به روش تحلیلی یکی از سه راه‌حل زیر به‌کار می‌رود:

۱ـ روش جداسازی متغیرها (Separation of variable)

۲ـ روش ترکیب متغیرها (Combination of variable)

۳ـ روش تبدیلات لاپلاس (Laplace Transformation)

جزئیات روش‌های حل فوق در درس ریاضیات مهندسی بررسی می‌شود.

۳ـ۳ روش ترسیمی

در این روش به‌جای ترم $\frac{A}{L}$ در قانون فوریه از ضریب شکلی S استفاده می‌کنند که این ضریب شکلی دیمانسیون طول را دارد:

$$q=kA\frac{\Delta T}{L}=kS\Delta T \qquad (۶ـ۳)$$

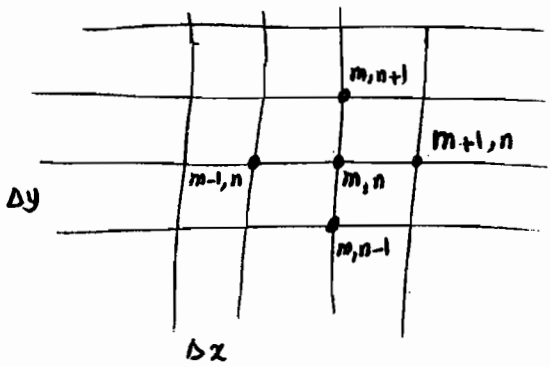
که درمعادله بالا

S= ضریب شکلی (m)

برای سیستم‌های مختلف در کتاب انتقال حرارت هولمن (فصل ۳) روابط مربوط به ضرایب شکلی آمده است.

۳ ـ ۴ روش عددی

در این روش مطابق شکل زیر جسم گره‌بندی می‌شود: (تقسیماتی به اندازه $\Delta z,\Delta y,\Delta x$)



شکل (۳ـ۱): جسم گره‌بندی شده در مختصات کارتزین

که در شکل فوق:

m = شمارندهٔ مکانی راستای x

n = شمارنده مکانی راستای y

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

برای شکل فوق مقادیر مشتق‌های جزیی چنین تعریف می‌شوند:

$$\left.\frac{\partial T}{\partial x}\right|_2 = \frac{T_{m+1,n} - T_{m,n}}{\Delta x} \quad , \quad \left.\frac{\partial T}{\partial x}\right|_1 = \frac{T_{m,n} - T_{m-1,n}}{\Delta x} \qquad (۳_۷)$$

$$\left.\frac{\partial T}{\partial y}\right|_2 = \frac{T_{m,n+1} - T_{m,n}}{\Delta y} \quad , \quad \left.\frac{\partial T}{\partial y}\right|_1 = \frac{T_{m,n} - T_{m,n-1}}{\Delta y} \qquad (۳_۸)$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right) = \frac{\left.\frac{\partial T}{\partial y}\right|_2 - \left.\frac{\partial T}{\partial x}\right|_1}{\Delta x} = \frac{T_{m+1,n} + T_{m-1,n} - 2T_{m,n}}{(\Delta x)^2} \qquad (۳_۹)$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{\partial T}{\partial y}\right) = \frac{\left.\frac{\partial T}{\partial y}\right|_2 - \left.\frac{\partial T}{\partial y}\right|_1}{\Delta y} = \frac{T_{m,n+1} + T_{m,n-1} - 2T_{m,n}}{(\Delta y)^2} \qquad (۳_۱۰)$$

با قرار دادن مقادیر مشتقات جزیی فوق در معادله انتقال حرارت هدایتی دوبعدی معادله به صورت زیر در می‌آید:

$$\frac{T_{m+1,n} + T_{m-1,n} - 2T_{m,n}}{(\Delta x)^2} + \frac{T_{m,n+1} + T_{m,n-1} - 2T_{m,n}}{(\Delta y)^2} = 0 \qquad (۳_۱۱)$$

با شرط $\Delta x = \Delta y$ معادله به صورت زیر قابل بازنویسی است:

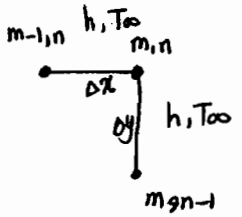
$$T_{m,n} = \frac{1}{4}\left[T_{m+1,n} + T_{m-1,n} + T_{m,n+1} + T_{m,n-1}\right] \qquad (۳_۱۲)$$

یعنی دمای هر نقطه، متوسط دمای چهار نقطه اطرافش است. معادله فوق برای گره‌های داخل مرزهای سیستم صادق است و برای گره‌های مرزی قابل استفاده نیست.

گره‌های مرزی

برای یک گره در مرز سیستم معادلات فوق قابل استفاده نیست. از این رو باید معادلات مربوطه را برای مرزهایی با شکل‌های مختلف و شرایط مرزی حرارتی متفاوت، به‌دست آورد، که در ذیل به چند نمونه اشاره می‌شود:

مثال ۱: گوشه جابجایی



شکل (۳_۲): گوشه جابجایی

یک گوشه جابجایی مطابق شکل بالا در نظر بگیرید.

برای گره (m,n) بیلان انرژی را می‌نویسیم:

$$k\left(\frac{\Delta y}{2}\times 1\right)\frac{T_{m-1,n} - T_{m,n}}{\Delta x} + k\left(\frac{\Delta x}{2}\times 1\right)\frac{T_{m,n-1} - T_{m,n}}{\Delta y} = h\left(\frac{\Delta x}{2} + \frac{\Delta y}{2}\right)\left(T_{m,n} - T_\infty\right) \qquad (۳_۱۳)$$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

در معادله فوق با شرط $\Delta x=\Delta y$ داریم:

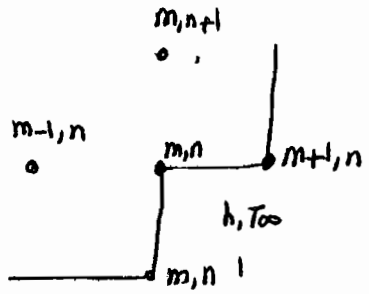
$$T_{m,n}=\frac{\frac{1}{2}\left(T_{m-1,n}+T_{m,n-1}\right)+B_i T_\infty}{1+B_i} \qquad (۱۴-۳)$$

که در معادله بالا

$B_i=$ عدد بی‌بعد بیوت $\left(\frac{h\Delta x}{k}\right)$

$T_\infty=$ دمای محیط

مثال ۲: گوشه داخلی جابجایی



شکل (۳-۳): گوشه داخلی جابجایی

برای این گوشه هم بیلان انرژی را می‌نویسیم:

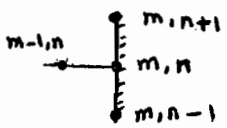
$$k\left(\frac{\Delta y}{2}\times 1\right)\frac{T_{m+1,n}-T_{m,n}}{\Delta x}+k\left(\Delta x\times 1\right)\frac{T_{m+1,n}-T_{m,n}}{\Delta y}+k\left(\Delta y\times 1\right)\frac{T_{m-1,n}-T_{m,n}}{\Delta x} \qquad (۱۵-۳)$$
$$+k\left(\frac{\Delta x}{2}\times 1\right)\frac{T_{m,n-1}-T_{m,n}}{\Delta y}=h\left(\frac{\Delta x}{2}+\frac{\Delta y}{2}\right)\left(T_{m,n}-T_\infty\right)$$

که با فرض $\Delta y=\Delta x$ داریم:

$$T_{m,n}=\frac{\left(T_{m,n+1}+T_{m-1,n}\right)+\frac{1}{2}\left(T_{m+1,n}+T_{m,n-1}\right)+B_i T_\infty}{3+B_i} \qquad (۱۶-۳)$$

مثال ۳: مرز عایق

برای این مرز بیلان انرژی به صورت زیر است:



شکل (۳-۴): مرز عایق

$$k\left(\frac{\Delta x}{2}\times 1\right)\frac{T_{m,n-1}-T_{m,n}}{\Delta y}+k\left(\frac{\Delta x}{2}\times 1\right)\frac{T_{m,n+1}-T_{m,n}}{\Delta y}+k\left(\Delta y\times 1\right)\frac{T_{m-1,n}-T_{m,n}}{\Delta x}=0 \qquad (۱۷-۳)$$

با شرط $\Delta y=\Delta x$ داریم:

$$T_{m,n}=\frac{1}{4}\left[T_{m,n+1}+T_{m,n-1}+2T_{m-1,n}\right] \qquad (۱۸-۳)$$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497
در کتاب‌های مرجع انتقال حرارت حالات دیگری هم بررسی شده

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۳ـ۵ـ تست‌های فصل سوم

۱ ـ رابطه عمومی انتقال حرارت دوبعدی در حضور منبع انرژی داخلی (g) به چه صورت نوشته می‌شود؟

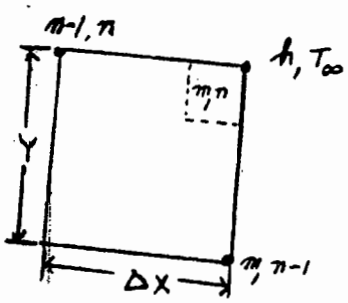
۱) $\frac{g}{k}\left(\frac{d^2T}{dx^2}+\frac{d^2T}{dy^2}\right)=0$

۲) $\frac{d^2T}{dx^2}+\frac{d^2T}{dy^2}+\frac{g}{k}=0$

۳) $\frac{d^2T}{dx^2}+\frac{d^2T}{dy^2}=\frac{g}{k}$

۴) هیچ‌کدام

۲ ـ انتقال حرارت دوبعدی در حالت پایدار در نقطه (m,n) همراه با انتقال حرارت جابه‌جایی h:



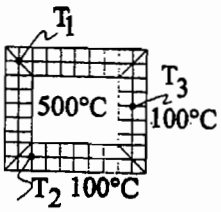
۱) $\left(T_{m,n-1}+T_{m-1,n}\right)+2\frac{h\Delta x}{k}T_\infty-2\left(\frac{h\Delta x}{k}+1\right)T_{m,n}=0$

۲) $\left(T_{m,n-1}+T_{m-1,n}\right)+\frac{h\Delta x}{k}T_\infty-\left(\frac{h\Delta x}{k}+1\right)T_{m,n}=0$

۳) $\left(T_{m,n-1}+T_{m-1,n}\right)-\frac{h\Delta x}{k}T_\infty+\left(\frac{h\Delta x}{k}+1\right)T_{m,n}=0$

۴) $\left(T_{m,n-1}+T_{m-1,n}\right)-2\frac{h\Delta x}{k}T_\infty+2\left(\frac{h\Delta x}{k}+1\right)T_{m,n}=0$

۳ ـ شکل مقابل سطح مقطع یک کوره است که دمای جداره‌های داخلی آن $500^\circ C$ و دمای جداره‌های خارجی آن $100^\circ C$ است. تغییرات دما در 3 نقطه از شبکه منظم نشان داده شده با کدام یک از حالات زیر تطبیق دارد؟



۱) $T_1=T_2=T_3$

۲) $T_1>T_3>T_2$

۳) $T_3>T_2>T_1$

۴) $T_3<T_2<T_1$

۴ ـ با توجه به مفهوم ضریب شکلی (هدایتی) واحد آن در دستگاه SI چیست؟

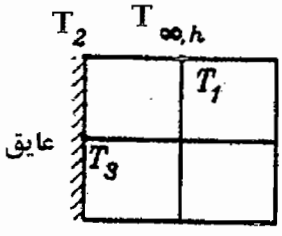
۱) m/K

۲) m^2/K

۳) m^2

۴) m

۵ ـ در شکل مقابل $T_1=T_3=70^\circ C$ ، $T_\infty=40^\circ C$ ، $h=200\,W/m^2{}^\circ C$ ، $K=4\,W/m.^\circ C$ و $\Delta x=\Delta y=1cm$ است دمای نقطه 2 چقدر است؟



۱) $50^\circ C$

۲) $60^\circ C$

۳) $64^\circ C$

۴) $68^\circ C$

۶ ـ روش ترسیمی در محاسبات انتقال حرارت به صورت هدایت:

۱) دقیق‌تر از روش جبری است.

۲) دقیق‌تر از روش عددی است.

۳) دقیق‌تر از روش تشابه‌سازی با الکتریسیته است.

۴) هیچ‌کدام

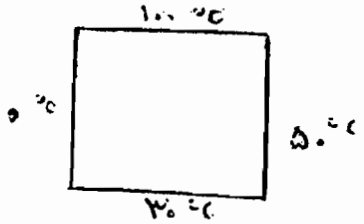
پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش مؤسسهٔ آموزش عالی آزاد پارسه
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۷ ـ با توجه به مفهوم ضریب شکلی (هدایتی) واحد آن را تعیین کنید.

۱) m　　۲) m^2　　۳) $\frac{1}{sec}$　　۴) sec/m^2

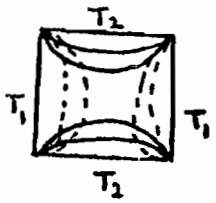
۸ ـ در شکل روبرو دمای مرکز چقدر است؟ (ابعاد شکل $0.5m \times 0.5m$)

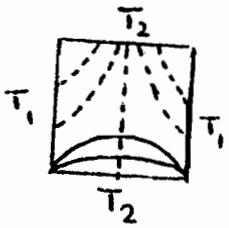


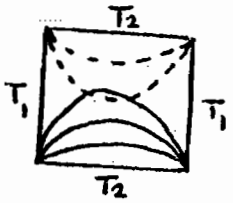
۱) 25　　۲) 35

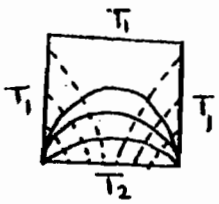
۳) 45　　۴) 55

۹ ـ کدام یک از موارد زیر شکل صحیح خطوط ایزوترم (خطوط ممتد) و آدیابات (نقطه‌چین) سیستمی را که $T_1 \neq T_2$ باشد نشان می‌دهد.

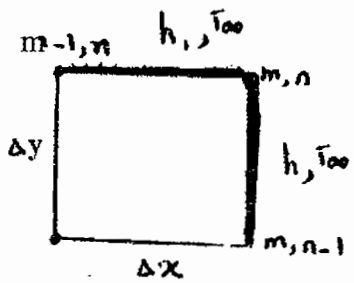
۱)


۲)


۳)


۴)


۱۰ ـ یکی از روابط زیر برای محاسبه دمای نقطه m و n (بر اساس شکل مقابل) صحیح است. (k ضریب هدایت، h ضریب انتقال حرارت محیط و T_∞ دمای محیط)



۱) $T_{m,n}\left(\frac{h\Delta x}{k}\right)-\frac{1}{2}\left(T_{m,n}+T_{m,n-1}+T_{m-1,n}\right)=0$

۲) $T_{m,n}\left(\frac{h\Delta x}{k}+1\right)-\left(\frac{h\Delta x}{k}\right)T_\infty-\frac{1}{2}\left(T_{m,n-1}+T_{m-1,n}\right)=0$

۳) $T_{m+1,n}\left(2\frac{h\Delta x}{k}-\frac{1}{2}\right)-\left(\frac{h\Delta x}{k}\right)\left(T_{m,n-1}+T_{m,n}\right)=0$

۴) $T_{m-1,n}+T_{m,n-1}+2T_\infty-\frac{1}{4}T_{m,n}=0$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۳ـ۶ پاسخ تست‌های فصل سوم

۱ ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

۲ ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

با نوشتن بیلان انرژی برای گره m, n داریم:

$$k\left(\frac{\Delta y}{2}\times 1\right)\frac{T_{m-1,n}-T_{m,n}}{\Delta x}+k\left(\frac{\Delta x}{2}\times 1\right)\frac{T_{m,n-1}-T_{m,n}}{\Delta y}=h\left(\frac{\Delta x}{2}+\frac{\Delta y}{2}\right)\left(T_{m,n}-T_\infty\right)$$

با شرط $\Delta x=\Delta y$ داریم:

$$T_{m-1,n}-T_{m,n}+T_{m,n-1}-T_{m,n}=\frac{2h\Delta x}{K}\left(t_{m,n}-T_\infty\right)$$

$$\left(T_{m-1,n}+T_{m,n-1}\right)-\left(\frac{2h\Delta x}{k}+1\right)T_{m,n}+\frac{2h\Delta x}{K}T_\infty=0$$

۳ ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

۴ ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

۵ ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

موازنه انرژی را برای گره 2 می‌نویسیم:

$$k\left(\frac{\Delta x}{2}\times 1\right)\frac{T_3-T_2}{\Delta y}+k\left(\frac{\Delta y}{2}\times 1\right)\frac{T_1-T_2}{\Delta x}=h\left(\frac{\Delta x}{2}\times 1\right)\left(T_2-T_\infty\right)$$

با فرض $\Delta x=\Delta y$ و جانشانی مقادیر عددی داریم:

$$4\times\frac{1}{2}\times\left(70-T_2\right)+4\times\frac{1}{2}\times\left(70-T_2\right)=200\times\frac{0.01}{2}\times\left(T_2-40\right)$$

$$T_2=64^\circ C$$

۶ ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

۷ ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

۸ ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$T_0=\frac{1}{4}[0+100+50+30]=45$$

۹ ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

خطوط دما ثابت و شار ثابت باید بر هم عمود باشند.

۱۰ ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$k\left(\frac{\Delta y}{2}\times 1\right)\left(\frac{T_{m-1,n}-T_{m,n}}{\Delta x}\right)+k\left(\frac{\Delta x}{2}\times 1\right)\frac{T_{m,n-1}-T_{m,n}}{\Delta y}=h\left(\frac{\Delta x}{2}+\frac{\Delta y}{2}\right)\left(T_{m,n}-T_\infty\right)$$

با فرض $\Delta y=\Delta x$ داریم:

$$T_{m,n}\left(\frac{h\Delta x}{k}+1\right)-\left(\frac{h\Delta x}{k}\right)T_\infty-\frac{1}{2}\left[T_{m-1,n}+T_{m,n-1}\right]=0$$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

فصل چهارم

هدایت ناپایدار

۴ـ۱ مقدمه

در این فصل به بررسی معادلات دیفرانسیل برای سیستم هدایت ناپایدار پرداخته و در ادامه روش‌های حل این معادلات به تفصیل بیان خواهد شد. در سیستم‌های ناپایدار ترم تجمع وارد معادلات بیلان انرژی می‌گردد، پس در این حالت معادلات علاوه بز تابعیت مکانی، تابعیت زمانی هم دارند.

$$T=f(x,y,z,t) \qquad (۱ـ۴)$$

در این فصل مسایل به دو دسته اصلی تقسیم می‌شوند:

۱ـ مسایلی که در آنها دما فقط تابع زمان است. (فرمولاسیون ظرفیت حرارتی فشرده)

۲ـ مسایلی که دما هم تابع مکان و هم تابع زمان هستند.

۴ـ۲ روش ظرفیت حرارتی فشرده *(Lumped)*

در این روش دمای جسم فقط تابعیت زمانی دارد و به مکان بستگی ندارد. این فرض زمانی صحیح است که مقاومت هدایتی جسم $\left(\frac{L}{k}\right)$ در مقایسه با مقاومت جابجایی محیط $\left(\frac{1}{h}\right)$ بسیار ناچیز باشد. به‌طور خلاصه شرط فوق به صورت زیر بیان می‌گردد:

$$Bi=\frac{hL}{k}<0.1 \qquad (۲ـ۴)$$

که در معادله فوق:

h= ضریب انتقال حرارت جابجایی محیط

k = ضریب هدایت حرارتی جسم جامد L= بعد مشخصه

بعد مشخصه جسم از معادله زیر به‌دست می‌آید:

$$L=\frac{V}{A} \qquad (۳ـ۴)$$

V = حجم جسم جامد A= مساحت سطح جانبی جسم جامد که در معرض کنوکسیون قرار دارد.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

به عنوان مثال برای کره‌ای به قطر D بعد مشخصه مورد استفاده در محاسبه بیوت برابر است با:

$$L=\frac{\frac{\pi}{6}D^3}{\pi D^2}=\frac{D}{6}=\frac{R}{3} \qquad (۴_۴)$$

برای مکعبی به اندازه یال (a) مقدار L برابر است با:

$$L=\frac{a^3}{6a^2}=\frac{a}{6} \qquad (۴_۵)$$

برای استوانه‌ای به قطر D و ارتفاع H:

$$L=\frac{\frac{\pi D^2}{4}H}{\pi DH+2\times\frac{\pi D^2}{4}}=\frac{DH}{4H+2D} \qquad (۴_۶)$$

ـ مفهوم عدد بیوت

عدد بیوت عبارت است از نسبت مقاومت هدایت جسمی جامد به مقاومت جابجایی محیط. به بیان دیگر عبارت است از نسبت توان جابجایی به توان هدایتی.

بیلان انرژی برای جسمی با ضریب هدایت (k) که درون محیطی با ضریب جابجایی h تبادل حرارتی می‌کند، در شرایط ظرفیت حرارتی فشرده به شکل زیر است:

$$0-hA\left(T-T_\infty\right)=\rho VC_p\frac{\partial T}{\partial t} \qquad (۴_۷)$$

با تغییر متغیرهای $\theta=T-T_\infty$ و $\tau=\frac{\rho VC_p}{hA}$ معادله فوق به صورت زیر در می‌آید:

$$\frac{\theta}{\theta_i}=\exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \qquad (۴_۸)$$

$$\theta_i=T_i-T_\infty$$

اگر در زمان t_f دمای جسم از T_i به T_f برسد آن‌گاه:

$$\frac{\theta_f}{\theta_i}=\exp\left(-\frac{t_f}{\tau}\right)\ \rightarrow\ t_f=\tau Ln\frac{\theta_i}{\theta_f} \qquad (۴_۹)$$

از معادله بالا ملاحظه می‌شود که زمان سرد شدن متناسب با ثابت زمانی است، به عبارتی:

$$\frac{t_2}{t_1}=\frac{\tau_2}{\tau_1}=\left(\frac{\rho_2}{\rho_1}\right)\left(\frac{C_{p_2}}{C_{p_1}}\right)\left(\frac{h_1}{h_2}\right)\left(\frac{\left(\frac{V}{A}\right)_2}{\left(\frac{V}{A}\right)_1}\right) \qquad (۴_۱۰)$$

مثال ۱: گلوله‌ای به قطر a و مکعبی به اندازه یال a در محیط یکسانی خنک می‌شوند اگر هر دوی آنها هم جنس باشند. زمان سرد شدن این دو را مقایسه کنید؟

$$\rightarrow\ \frac{t_2}{t_1}=\frac{\tau_2}{\tau_1}=\frac{\left(\frac{V}{A}\right)_2}{\left(\frac{V}{A}\right)_1}=\frac{\frac{a}{6}}{\frac{a}{6}}=1 \qquad (۴_۱۰)$$

پس گلوله و مکعب هم‌زمان سرد می‌شوند.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

مثال ۲: زمان سرد شدن یک گلوله و مکعبی که هم جنس و هم وزن هستند را مقایسه نمایید؟

هم وزن و هم جنس $\rightarrow V_1=V_2 \rightarrow \frac{\pi}{6}D^3=a^3 \rightarrow a=\sqrt[3]{\frac{\pi}{6}}D$

$(۱۰_۴) \rightarrow \frac{t_2}{t_1}=\frac{V_2}{V_1}.\frac{A_1}{A_2}=1\times\frac{\pi D^2}{6\sqrt[3]{\frac{\pi^2}{36}}.D^2}>1 \rightarrow t_2>t_1$ یعنی مکعب زودتر خنک می‌شود.

۴ـ۳ هدایت چند بعدی در حالت ناپایدار

بیلان انرژی برای این حالت به صورت زیر می‌باشد:

$$q_x A_x\Big|_x - q_x A_x\Big|_{x+\Delta x} + q_y A_y\Big|_y - q_y A_y\Big|_{y+\Delta y} + q_z A_z\Big|_z - q_z A_z\Big|_{z+\Delta z} = \rho(\Delta x\Delta y\Delta z)C_p\frac{\partial T}{\partial t} \quad (۱۱_۴)$$

پس از ساده‌سازی عبارت فوق معادله دیفرانسیل زیر به‌دست می‌آید:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}=\frac{\rho C_p}{k}\frac{\partial T}{\partial t} \quad (۱۲_۴)$$

که در معادله بالا $\alpha=\frac{k}{\rho C_p}$ قرار می‌گیرد که ضریب پخش حرارتی نام دارد. معادله دیفرانسیل فوق به کمک شرایط مرزی و شرط اولیه حل می‌شود.

جسم نیمه بی‌نهایت: جسمی است که از یک طرف نامحدود است (در شکل (۴ـ۱) نشان داده شده است.) جسم زیر در دمای اولیه T_i قرار دارد که به طور ناگهانی دمای سمت چپ آن به دمای T_0 تغییر می‌نماید. با توجه به معادله (۴ـ۱۲) معادله دیفرانسیل جسم نیمه بی‌نهایت به صورت زیر می‌گردد:

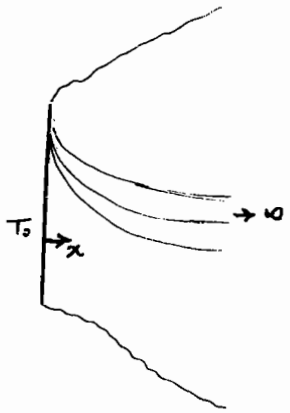
$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}=\frac{1}{\alpha}\frac{\partial T}{\partial t} \quad (۱۳_۴)$$

شرایط مرزی و اولیه آن به شرح زیر است:

$$T(x,0)=T_i \quad (۱۵_۴)$$

$$T(0,t)=T_0 \quad (۱۶_۴)$$

$$T(\infty,t)=T_i \quad (۱۷_۴)$$



شکل (۴ـ۱): جسم نیمه بینهایت

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پاسخ معادله فوق از روش تحلیلی به صورت زیر است:

$$\frac{T-T_0}{T_i-T_0}=\text{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}\right) \qquad (۱۸_۴)$$

$$\text{erf}(\eta)=\frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^{\eta} e^{-\eta^2}\,d\eta \qquad (۱۹_۴)$$

$$\text{erf}(0) \quad , \quad \text{erf}(\infty)=1 \qquad (۲۰_۴)$$

هم‌چنان‌که مشاهده می‌شود توزیع دما تابع ضریب پخش حرارتی α است.

$$q=-kA\frac{\partial T}{\partial x}\bigg|_{x=0}=\frac{kA(T_i-T_0)}{\sqrt{\pi\alpha t}} \qquad (۲۱_۴)$$

مثال ۱: اگر دو جسم نیمه بی‌نهایت به دمای اولیه T_1 و T_2 با هم تماس داده شوند دمای محل تماس T_C را پیدا کنید؟

در محل تماس تبادل حرارتی از این دو جسم با هم یکسان است پس طبق معادلهٔ (۴ـ۲۱) می‌توان نوشت:

$$\frac{k_1A(T_c-T_1)}{\sqrt{\pi\alpha_1 t}}=\frac{k_2A(T_2-T_c)}{\sqrt{\pi\alpha_2 t}} \qquad (۲۲_۴)$$

پس از ساده‌سازی، معادله به صورت زیر خلاصه می‌گردد:

$$\frac{T_2-T_c}{T_c-T_1}=\sqrt{\frac{k_1}{k_2}\cdot\frac{\rho_1}{\rho_2}\cdot\frac{C_{p_1}}{C_{p_2}}} \qquad (۲۳_۴)$$

در صورتی که دو جسم هم جنس باشند، از معادله (۴ـ۲۳) می‌توان دمای T_c را به سهولت یافت:

$$\frac{T_2-T_c}{T_c-T_1}=1 \quad \rightarrow \quad T_c=\frac{1}{2}(T_1+T_2) \qquad (۲۴_۴)$$

نکته: به همین دلیل است که اجسام فلزی نسبت به چوب سردتر احساس می‌شوند. زیرا طبق معادله (۴ـ۲۳) حتی دو جسم با دمای یکسان ولی با C_p,ρ,k متفاوت دارای دمای تماسی متفاوتی هستند.

۴ـ۴ روش‌های عددی در حل مسایل ناپایدار

در انتقال حرارت هدایتی، دوبعدی و ناپایدار معادله دیفرانسیل بیان کننده تغییرات دما به فرم زیر است:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}=\frac{1}{\alpha}\frac{\partial T}{\partial t} \qquad (۲۵_۴)$$

در این حالت نیز شکل مسئله، به فواصل معین $\Delta y,\Delta x$ تقسیم می‌گردد و از شمارنده زمانی P برای مشخص کردن موقعیت زمانی استفاده می‌شود.

$$\begin{cases} \dfrac{\partial^2 T}{\partial x^2}=\dfrac{T_{m+1,n}+T_{m-1,n}-2T_{m,n}}{(\Delta x)^2} & (۲۶_۴) \\ \dfrac{\Delta^2 T}{\Delta y^2}=\dfrac{T_{m,n+1}+T_{m,n-1}-2T_{m,n}}{(\Delta y)^2} & (۲۷_۴) \\ \dfrac{\partial T}{\partial t}=\dfrac{T_{m,n}^{p+1}-T_{m,n}^{p}}{\Delta t} & (۲۸_۴) \end{cases}$$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

با قرار دادن این مشتق‌ها در معادله (۴ـ۲۵) معادله زیر حاصل می‌شود:

$$\frac{T_{m+1,n}+T_{m-1,n}-2T_{m,n}}{(\Delta x)^2}+\frac{T_{m,n+1}+T_{m,n-1}-2T_{m,n}}{(\Delta y)^2}=\frac{1}{\alpha}\frac{T_{m,n}^{p+1}-T_{m,n}^{p}}{\Delta t} \qquad (۲۹_۴)$$

اما نکته مهم در معادله فوق این است که دماهایی که در سمت چپ قرار دارند در لحظه p است یا لحظه p+1 بر اساس این‌که از کدام زمان استفاده می‌شود، روش‌های عددی برای حل این‌گونه مسایل به دو دسته زیر تقسیم می‌شوند:

۱ـ روش صریح (Explicit)

۲ـ روش غیرصریح (Implicit)

۴ـ۴ـ۱ روش صریح (Explicit)

در این روش کلیه دماهای سمت چپ معادله (۴ـ۲۹) در لحظه P (قدیم) برآورد شده‌اند، پس:

$$\frac{T_{m+1,n}^{p}+T_{m-1,n}^{p}-2T_{m,n}^{p}}{(\Delta x)^2}+\frac{T_{m,n+1}^{p}+T_{m,n-1}^{p}-2T_{m,n}^{p}}{(\Delta y)^2}=\frac{1}{\alpha}\frac{T_{m,n}^{p+1}-T_{m,n}^{p}}{\Delta t} \qquad (۳۰_۴)$$

با فرض $\Delta x=\Delta y$ و نیز تعریف عدد فوریه به صورت زیر، دمای $T_{m,n}$ در لحظه $p+1$ به‌دست می‌آید:

$$F_o=\frac{\alpha\Delta t}{(\Delta x)^2} \qquad (۳۱_۴)$$

$$T_{m,n}^{p+1}=Fo\left[T_{m+1,n}^{p}+T_{m-1,n}^{p}+T_{m,n-1}^{p}+T_{m,n-1}^{p}\right]+(1-4Fo)T_{m,n}^{p} \qquad (۳۲_۴)$$

پس دمای هر گره در لحظه جدید $T_{m,n}^{p+1}$ تابعی از دمای خود آن نقطه و نقاط اطرافش در لحظه قدیم است. به عبارت دیگر در این روش فقط با یک معادله و یک مجهول روبرو خواهیم شد، که این امر موجب سهولت محاسبات می‌شود. اما مشکل روش صریح این است که دارای شرط پایداری است. به این معنی که اگر ضریب جمله $T_{m,n}^{p}$ در معادله گره‌ای منفی شود، قانون دوم ترمودینامیک نقض می‌شود.

از این رو برای پایداری لازم است که:

$$1-4Fo\geq 0 \quad \text{یا} \quad Fo\leq\frac{1}{4} \qquad (۳۳_۴)$$

به بیان دیگر اگر عدد فوریه از $\frac{1}{4}$ بزرگتر باشد ضریب جمله $T_{m,n}^{p}$ منفی شده و قانون دوم ترمودینامیک که می‌گوید: انتقال حرارت از دمای پایین به دمای بالا بدون صرف کار ممکن نیست، نقض می‌شود.

برای روشن شدن موضوع به مثال عددی زیر دقت فرمایید:

$$T_{m,n}^{p}=100^\circ C \qquad T_{m,n+1}^{p}=T_{m+1,n}^{p}=T_{m-1,n}^{p}=80^\circ C$$

$Fo=\frac{1}{4}+\varepsilon$ (که ε کوچکترین عدد حقیقی مثبت است $\varepsilon\to 0^+$)

با قرار دادن مقادیر فوق در معادله گره و به سمت صفر میل دادن ε:

$$T_{m,n}^{p+1}<80\ ^\circ C$$

و این امر غیرممکن است زیرا نقطه $m\ ,\ n$ که دارای دمای $100^\circ C$ است نمی‌تواند آنقدر با نقاط اطراف که دارای دمای پایین‌تری هستند، تبادل حرارت بکند تا دمای خودش از نقاط اطراف هم کمتر شود.

شرط پایداری برای سیستم‌های یک بعدی ناپایدار و سه‌بعدی ناپایدار به شرح زیر است:

$$(1-D,u.s.s)\ Fo\leq\frac{1}{2} \quad , \quad Fo\leq\frac{1}{6}\ (3-D,u.s.s) \qquad (۳۴_۴)$$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۴ـ۴ـ۲ روش غیرصریح (Implicit)

در این روش کلیه دماهایی که در سمت چپ معادله (۴ـ۲۹) استفاده می‌شوند مربوط به لحظه جدید (p+1) هستند. از این رو می‌توان نوشت:

$$\frac{T^{p+1}_{m+1,n}+T^{p+1}_{m-1,n}-2T^{p+1}_{m,n}}{(\Delta x)^2}+\frac{T^{p+1}_{m,n+1}+T^{p+1}_{m,n-1}-2T^{p+1}_{m,n}}{(\Delta y)^2}=\frac{1}{\alpha}\frac{T^{p+1}_{m,n}-T^{p}_{m,n}}{\Delta t} \qquad (۴ـ۳۵)$$

معادله بالا با فرض $\Delta x=\Delta y$ و $Fo=\frac{\alpha\Delta t}{(\Delta x)^2}$ به فرم زیر قابل بازنویسی است:

$$(1+4Fo)T^{p+1}_{m,n}-Fo\left(T^{p+1}_{m+1,n}+T^{p+1}_{m-1,n}+T^{p+1}_{m,n+1}+T^{p+1}_{m,n-1}\right)=T^{p}_{m,n} \qquad (۴ـ۳۶)$$

از معادله بالا می‌توان فهمید که دمای هر گره در لحظه جدید $\left(T^{p+1}_{m,n}\right)$ تابعی از دمای خود آن گره در لحظه قدیم $\left(T^{p}_{m,n}\right)$ و دمای گره‌های اطراف در لحظه جدید ($T^{p+1}_{m,n-1}, T^{p+1}_{m,n+1}$ و $T^{p+1}_{m+1,n}$ ، $T^{p+1}_{m-1,n}$) است. از این رو یک معادله و پنج مجهول ($T^{p+1}_{m,n}$ و $T^{p+1}_{m+1,n}$ ، $T^{p+1}_{m-1,n}$ ، $T^{p+1}_{m,n+1}$ ، $T^{p+1}_{m,n-1}$) تولید می‌شود که این امر موجب دشواری و افزایش حجم محاسبات می‌شود. اما دارای این حسن هست که همواره پایدار است. به این معنی که برای Δt و Δx هر مقداری را می‌توان اختیار کرد بدون آن‌که مشکلی از لحاظ پایداری ایجاد شود.

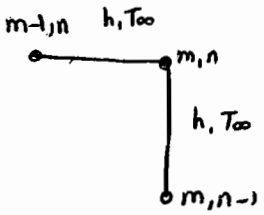
جدول (۴ـ۱): مزایا و معایب روش‌های صریح و غیرصریح

روش	حسن	عیب
صریح (Explicit)	یک معادله یک مجهول	شرط پایداری دارد
غیرصریح (Implicit)	همواره پایدار است	چند معادله و چند مجهول

لازم به ذکر است که برای گره‌هایی که در مرز واقع هستند به همان روش گفته شده در بخش هدایت چندبعدی پایدار عمل می‌شود.

مثال ۲: گوشه در مرز جابجایی

بیلان انرژی برای گره (m,n) به صورت زیر است:



شکل (۴ـ۲): گوشه در مرز جابجایی

$$k\left(\frac{\Delta y}{2}\times 1\right)\frac{T_{m-1,n}-T_{m,n}}{\Delta x}+k\left(\frac{\Delta x}{2}\times 1\right)\frac{T_{m,n-1}-T_{m,n}}{\Delta y}=\rho\left(\frac{\Delta x}{2}\times\frac{\Delta y}{2}\times 1\right)C_p\frac{T^{p+1}_{m,n}-T_{m,n}}{\Delta y}$$

بسته به این‌که سمت چپ معادله بالا در لحظه قدیم (P) یا در لحظه جدید (p+1) انتخاب شوند، دو حالت صریح و غیرصریح برای مسئله مطرح می‌گردد.

در روش صریح (Explicit) دمای نقطه (m,n) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\Delta x=\Delta y \quad , \quad Fo=\frac{\alpha\Delta t}{(\Delta x)^2}$$

$$T^{p+1}_{m,n}=2Fo\left(T^{p}_{m-1,n}+T^{p}_{m,n-1}\right)+(1-4Fo)T^{p}_{m,n} \qquad (۴ـ۳۷)$$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

معادله بالا برای گره در مرز است که به روش صریح فرمول‌بندی شده است و طبعاً دارای شرط پایداری هست. (اثبات برای حالت صریح به عهده خواننده است). در کتاب‌های مرجع انتقال حرارت برای مرزهای مختلف معادله گره‌ای در حالت ناپایدار ارائه شده است.

مثال ۳: برای انتقال حرارت هدایتی دوبعدی در شرایط ناپایدار به همراه تولید حرارت $(\dot{q})$ معادلات گره‌ای را به روش صریح فرمول‌بندی کرده و شرط پایداری را به‌دست آورید.

با توجه به فرضیات ذکر شده در صورت مسئله معادله توزیع دمای این سیستم به صورت زیر می‌شود:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}+\frac{\dot{q}}{k}=\frac{1}{\alpha}\frac{\partial T}{\partial t} \qquad (۳۸_۴)$$

از این‌رو معادله گره‌ای متناظر با این معادله دیفرانسیل در حالت صریح به فرم زیر است:

$$\frac{T^p_{m+1,n}+T^p_{m-1,n}-2T^p_{m,n}}{(\Delta x)^2}+\frac{T^p_{m,n+1}+T^p_{m,n-1}-2T^p_{m,n}}{(\Delta y)^2}+\frac{\dot{q}}{k}=\frac{1}{\alpha}\frac{T^{p+1}_{m,n}-T^p_{m,n}}{\Delta t} \qquad (۳۹_۴)$$

با فرض $\Delta x=\Delta y$, $Fo=\frac{\alpha\Delta t}{(\Delta x)^2}$ می‌توان نوشت:

$$T^p_{m,n}=Fo\left[T^p_{m+1,n}+T^p_{m-1,n}+T^p_{m,n+1}+T^p_{m,n-1}\right]+(1-4Fo)T^p_{m,n}+\frac{\dot{q}\Delta t}{\rho C_p} \qquad (۴۰_۴)$$

برای سیستم فوق باز هم شرط پایداری به فرم زیر است:

$$Fo=\frac{\alpha\Delta t}{(\Delta x)^2}\le\frac{1}{4}$$

یعنی تولید یا عدم تولید حرارت روی شرط پایداری تأثیری ندارد.

مثال ۴: نشان دهید معادله $\frac{\theta}{\theta_i}=\exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)$ به شکل زیر قابل بازنویسی است:

$$\frac{\theta}{\theta_i}=\exp\left(-B_i.Fo\right) \qquad (۴۱_۴)$$

باید نشان دهیم:

$$\frac{t}{\tau}=B_i.Fo \qquad (۴۲_۴)$$

پس با توجه به تعریف اعداد Fo, B_i خواهیم داشت:

$$B_i.Fo=\frac{hL}{k}.\frac{\alpha t}{L^2}=\frac{hL}{\rho C_p L^2}t=\frac{t}{\frac{\rho L^3 C_p}{hL^2}}=\frac{t}{\frac{\rho V C_p}{hA}}=\frac{t}{\tau}$$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۴ـ ۵ تست‌های فصل چهارم

۱ ـ هنگامی‌که جسم از نقطه‌نظر انتقال حرارت یکپارچه (Lumped) فرض می‌شود کدام یک از عبارات صحیح است؟

۱) مقدار انتقال حرارت با مکانیزم جابجایی بسیار بیشتر از مکانیزم هدایت است.

۲) درجه حرارت در نقاط مختلف جسم بسیار با یکدیگر متفاوت است.

۳) انتقال حرارت بین جسم و سیال اطراف ناچیز است.

۴) مقدار انتقال حرارت با مکانیزم هدایت بسیار بیشتر از مکانیزم جابجایی است.

۲ ـ در یک گلوله آلومینیومی $\left(k=200\frac{W}{m^\circ C}\right)$ **به قطر** $10\ cm$ **حرارت به زمین** $1\frac{KW}{m^3}$ **تولید می‌شود. این گلوله در معرض هوا با دمای** $20^\circ C$ **و ضریب انتقال حرارت** $h=15\frac{W}{m^{2\circ}C}$ **قرار گرفته است. دمای مرکز گلوله به طور تقریبی برابر است با:**

۱) $26^\circ C$ ۲) $31^\circ C$ ۳) $21^\circ C$ ۴) $36^\circ C$

۳ ـ دیواره‌ای به ضخامت $2L$ **و دمای اولیه** T_i **در محیط** h, T_∞ **قرار گرفته است. در صورتی که یک طرف صفحه عایق شود. ثابت زمانی آن کدام است؟**

۱) نصف

۲) دو برابر

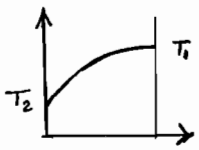
۳) ثابت

۴) به ظرفیت گرمایی دیواره بستگی دارد.

۴ ـ یک کره مسی داغ را در مجاورت هوای اتاق قرار داده‌ایم. نسبت $\frac{Nu}{Bi}$ **در این مورد چقدر است؟**

۱) $\frac{Nu}{Bi}<1$ ۲) $\frac{Nu}{Bi}>1$ ۳) $\frac{Nu}{Bi}=1$ ۴) بستگی به دمای کره دارد.

۵ ـ در یک تیغه توزیع دما در حالت ناپایدار مانند شکل زیر است می‌توان گفت که.....



۱) تیغه در حال سرد شدن است.

۲) اطلاعات کافی نیست.

۳) تیغه در حال گرم شدن است.

۴) هر دو حالت ۱ و ۳ می‌تواند باشد.

۶ ـ هر گاه گلوله‌های ترموپلیمری با $Bi<0.1$ **موجود باشند، در صورتی که قطر گلوله A دو برابر B باشد:**

۱) زمان سرد شدن گلوله A دو برابر گلوله B است.

۲) زمان سرد شدن گلوله A نصف گلوله B است.

۳) زمان سرد شدن گلوله A، $\frac{1}{3}$ گلوله B است.

۴) زمان سرد شدن گلوله A سه برابر گلوله B است.

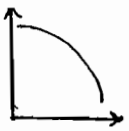
پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۷ ـ نمودار دمای $\theta(x,t)$ بر حسب $\frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}$ برای یک جسم نیمه بی‌نهایت که در معرض شار حرارتی قرار نگرفته است کدام است؟

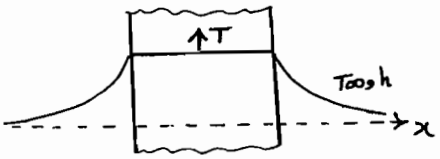
۱)

۲)

۳) 

۴)

۸ ـ تغییرات درجه حرارت جسمی مطابق شکل است، در این‌صورت:



۱) $Bi \gg 1$

۲) $Bi \cong 1$

۳) $Bi = 1$

۴) $Bi \ll 1$

۹ ـ اگر چند جسم مختلف را برای مدت طولانی زیر نور آفتاب بگذاریم:

۱) جسمی که k بالاتری دارد دمای بالاتری دارد.

۲) جسمی که α بالاتری دارد دمای بالاتری دارد.

۳) دمای همه برابر است اما آن‌که k بیشتری دارد گرمتر می‌باشد.

۴) دمای همه یکسان است، احساس گرما بستگی به C_p, ρ, k دارد.

۱۰ ـ قابلیت هدایت یک گلوله فولادی به قطر $5\ cm$ و ضریب هدایت $35\frac{W}{m\,^\circ K}$ و ضریب جابجایی $10\frac{W}{m^2\,^\circ K}$ نسبت به توان جابجایی حرارتی از گلوله:

۱) بسیار زیاد است.　　۲) قابل اغماض است.　　۳) یکسان است.　　۴) دو برابر است.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۴ـ۶ پاسخ تست‌های فصل چهارم

۱ ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

۲ ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$Bi=\frac{hd}{6k}=\frac{15\times0.1}{6\times200}<0.1$$

چون $Bi<0.1$ است پس دمای مرکز و دیواره کره با هم یکسان است.

$$T_0=T_w$$

$$\dot{q}\times\frac{\pi d^3}{6}=\frac{T_w-T_\infty}{\frac{1}{h\pi d^2}} \quad \rightarrow \quad T_w=T_\infty+\frac{\dot{q}d}{6h}$$

$$T_w=20+\frac{1000\times0.1}{6\times15}=21.1^\circ C$$

۳ ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$\tau=\frac{\rho VC_p}{hA} \xrightarrow[\text{می‌شود}]{\text{نصف } A} \tau \text{ دو برابر می‌شود.}$$

۴ ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$\frac{Nu}{Bi}=\frac{\frac{hD}{k_1}}{\frac{hD}{6k_2}}=\frac{6k_2}{k_1}>1$$

k_1 ضریب هدایت حرارتی سیال و k_2 ضریب هدایت حرارتی مس است.

۵ ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

طبق معادله $\frac{1}{\alpha}\frac{dT}{dt}=\frac{d^2T}{dx^2}$ برای دو حالت گرم و سرد شدن داریم:

گرم شدن $\rightarrow \frac{dT}{dt}>0 \rightarrow \frac{d^2T}{dx^2}>0 \rightarrow$ تقعر منحنی رو به بالاست

سرد شدن $\rightarrow \frac{dT}{dt}<0 \rightarrow \frac{d^2T}{dx^2}<0 \rightarrow$ تقعر منحنی رو به پایین

۶ ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$\tau=\frac{\rho VC_p}{hA} \quad \rightarrow \quad \frac{\tau_B}{\tau_A}=\frac{\left(\frac{V}{A}\right)_B}{\left(\frac{V}{A}\right)_A}=\frac{D_B}{D_A}=2$$

زمان سرد شدن A نصف B است.

۷ ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

۸ ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

۹ ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

۱۰ ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$Bi=\frac{hD}{6k}=\frac{10\times0.05}{6\times35}<0.1$$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

فصل پنجم

جابجایی اجباری

۵ـ۱ مقدمه

هم‌چنان‌که در تقسیم‌بندی انواع مکانیزم‌های انتقال حرارت گفته شد، انتقال حرارت جابجایی یکی از روش‌های انتقال حرارت است که نیاز به محیط مادی دارد و با حرکت توأم است. به عبارتی شرط اساسی وجود انتقال حرارت جابجایی، وجود حرکت است:

$$\vec{v}\neq 0 \qquad (۵ـ۱)$$

این حرکت ممکن است به وسیله دستگاه‌های انتقال سیال (پمپ، کمپرسور، فن و .....) صورت گیرد که در این صورت این نوع انتقال حرارت را جابجایی اجباری (Forced Convection) می‌نامند. اما اگر در اثر اختلاف دما در سیال اختلاف دانسیته حاصل شود و این اختلاف دانسیته باعث اختلاف در نیروی شناوری شود این نیرو موجب به حرکت درآمدن سیال می‌شود که این مکانیزم انتقال را جابجایی آزاد (Natural Convection) گویند.

اگر بیلان انرژی برای لایه سیالی که به سطح جامد چسبیده است، نوشته شود به علت آنکه این لایه به واسطه شرط عدم لغزش $(\text{No}-\text{Slip}\ ,\ v=0)$ فاقد حرکت است پس مکانیزم انتقال در این لایه منحصراً هدایتی است:

$$-k\left.\frac{\partial T}{\partial y}\right|_{wall}=h\left(T_w-T_\infty\right) \qquad (۵ـ۲)$$

به عبارتی:

$$h=\frac{-k\left.\frac{\partial T}{\partial y}\right|_{wall}}{T_w-T_\infty} \qquad (۵ـ۳)$$

معادله فوق اساسی‌ترین معادله انتقال حرارت کنوکسیونی است. طبق این معادله بایستی برای یافتن مقدار h مراحل زیر طی شود:

۱ـ یافتن پروفیل سرعت از معادله پیوستگی و مومنتم

۲ـ نوشتن بیلان انرژی و یافتن تغییرات دما

۳ـ محاسبه h از معادله بالا

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

در به‌دست آوردن یا استفاده از روابط مربوط به h ابتدا باید موارد زیر روشن شود:

۱ـ اجباری یا آزاد بودن جابجایی

۲ـ شکل هندسی سیستم (لوله، صفحه و .....)

۳ـ آرام یا درهم بودن رژیم جریان

۴ـ شرایط مرزی حرارتی سیستم (دمای ثابت دیواره، شار ثابت دیواره)

۵ـ۲ معادلات پیوستگی و مومنتم

از آنجا که انتقال حرارت جابجایی یک پدیده توأم انتقال حرارت و مکانیک سیالات است پس باید ابتدا وضعیت حرکت و روابط حاکم بر حرکت سیال مشخص شود. پس بایستی ابتدا به بررسی معادله پیوستگی برای سیال پرداخته شود.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t}+\nabla.(\rho \vec{v})=0 \qquad (۴ـ۵)$$

معادله فوق فرم بی‌قید و شرط معادله پیوستگی است که اگر فرضیات زیر در آن لحاظ شود:

۱ـ حالت پایدار (Steady State)

۲ـ دانسیته سیال ثابت است (Incompressible Fluid)

معادله پیوستگی بدین صورت در می‌آید:

$$\nabla.\vec{v}=0 \qquad (۵ـ۵)$$

$$\frac{\partial v_x}{\partial x}+\frac{\partial v_x}{\partial y}+\frac{\partial v_z}{\partial z}=0 \qquad (۶ـ۵)$$

که v_x, v_y, v_z مؤلفه‌های سرعت در راستاهای x, y, z می‌باشند.

معادله مومنتم برای یک سیال نیوتنی مطابق معادله ناویراستوکس به شکل زیر است:

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t}+\vec{v}.\nabla\vec{v}=\nu\nabla^2\vec{v}-\frac{1}{\rho}\nabla P+\vec{f} \qquad (۷ـ۵)$$

$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t}$ ← ترم تجمع (Unsteady State)

$\vec{U}.\nabla\vec{v}$ ← ترم جابجایی (Conective)

$\nu\nabla^2\vec{v}$ ← نفوذ مومنتم (Diffusion)

$\frac{1}{\rho}\nabla P$ ← گرادیان فشار (Pressure)

$\vec{f}$ ← نیروهای حجمی (Body force)

$\vec{v}$ = بردار سرعت

ν = ویسکوزیته سینماتیکی $\left(\frac{\mu}{p}\right)$

$\vec{f}$ = نیروهای حجمی، مثل نیروی وزن $(\vec{f}=\vec{g})$ (نیرو به ازای واحد جرم)

معادله مومنتم بر خلاف معادلات پیوستگی و انرژی، یک معادله برداری است و دارای سه مؤلفه است:

$$\frac{\partial v_x}{\partial t}+v_x\frac{\partial v_x}{\partial x}+v_y\frac{\partial v_x}{\partial y}+v_z\frac{\partial v_x}{\partial z}=\nu\left[\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2}\right]-\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x}+g_x \qquad (۸ـ۵)$$

$$\frac{\partial v_y}{\partial z}+v_x\frac{\partial v_y}{\partial x}+v_y\frac{\partial v_y}{\partial y}+v_z\frac{\partial v_z}{\partial z}=\nu\left[\frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 v_y}{\partial z^2}\right]-\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial y}+g_y \qquad (۹ـ۵)$$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۵ـ۳ معادله انرژی

با نوشتن موازنه انرژی و المان‌گیری، پس از یک سری ساده‌سازی‌های ریاضی معادله انرژی به صورت دیفرانسیلی برای یک سیال نیوتنی به شکل زیر است:

$$\frac{\partial T}{\partial t}+v_x\frac{\partial T}{\partial x}+v_y\frac{\partial T}{\partial y}+v_z\frac{\partial T}{\partial z}=\alpha\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right)+\frac{\dot{q}}{\rho C_p} \qquad (۱۰ـ۵)$$

$\frac{\partial T}{\partial t}$ ← تجمع حرارت (Unsteady state)

$v_x\frac{\partial T}{\partial x}+v_y\frac{\partial T}{\partial y}+v_z\frac{\partial T}{\partial z}$ ← انتقال حرارت جابجایی (Convection Heat Transfer)

$\alpha\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right)$ ← انتقال حرارت هدایتی (Conduction)

$\frac{\dot{q}}{\rho C_p}$ ← تولید حرارت (Generation)

یا

$$\frac{\partial T}{\partial t}+\vec{v}.\nabla T=\alpha\nabla^2 T+\frac{\dot{q}}{\rho C_p}+\frac{\Phi}{\rho C_p} \qquad (۱۱ـ۵)$$

که در معادلات فوق $v.\nabla T$ معرف ترم انتقال حرارت کنوکسیونی است که در سرعت‌های مخالف صفر $(v\neq 0)$ دارای اهمیت است و $\dot{q}$ تولید حرارت به ازای واحد حجم است. ترم Φ در معادله فوق ناشی از اتلاف حرارتی در اثر نیروهای ویسکوز است؛ که برای سیال نیوتنی از معادله زیر حاصل می‌شود:

$$\Phi=2\mu\left[\left(\frac{\partial v_x}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial v_y}{\partial y}\right)^2+\left(\frac{\partial v_z}{\partial z}\right)^2\right]+\mu\left[\frac{\partial v_x}{\partial y}+\frac{\partial v_y}{\partial x}\right]^2+\mu\left[\frac{\partial v_x}{\partial z}+\frac{\partial v_z}{\partial x}\right]^2+\mu\left[\frac{\partial v_y}{\partial z}+\frac{\partial v_z}{\partial y}\right]^2 \qquad (۱۲ـ۵)$$

$$-\frac{2\mu}{3}\left[\frac{\partial v_x}{\partial x}+\frac{\partial v_y}{\partial y}+\frac{\partial v_z}{\partial z}\right]^2$$

ملاحظه می شود که ترم تلفات لزجتی (Φ) حتی برای سیال نیوتنی هم دارای معادلات پیچیده‌ای است.

پس به طور خلاصه می‌توان معادلات پیوستگی، مومنتم و انرژی را به شکل زیر نشان داد:

$$\begin{cases}\frac{D\rho}{Dt}+\rho\nabla.\vec{v}=0 & (۱۳ـ۵)\\ \frac{D\vec{v}}{Dt}=\nu\nabla^2\vec{v}-\frac{1}{\rho}\nabla P+\vec{g} & (۱۴ـ۵)\\ \frac{DT}{Dt}=\alpha\nabla^2 T+\frac{\dot{q}}{\rho C_p}+\frac{\Phi}{\rho C_p} & (۱۵ـ۵)\end{cases}$$

از حل معادلات سه گانه فوق می‌توان پروفیل‌های سرعت و دما را در سیال به‌دست آورد. لازم به ذکر است که عبارت $\frac{D}{Dt}$ همان مشتق لاگرانژ است که به صورت زیر تعریف می‌شود:

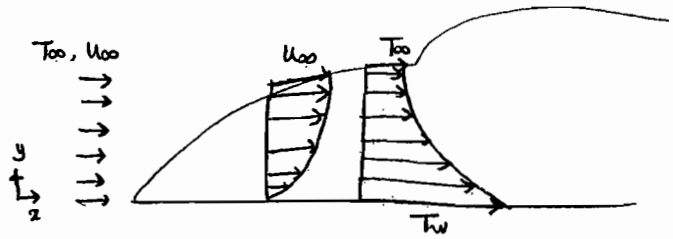
$$\frac{D(\ )}{Dt}=\frac{\partial(\ )}{\partial t}+v.\nabla(\ ) \qquad (۱۶ـ۵)$$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۵ـ۴ انتقال حرارت جابجایی اجباری برای جریان آرام سیال از روی یک صفحه افقی

اگر جریان یک سیال تراکم‌ناپذیر در حالت پایدار از روی یک صفحه افقی در نظر گرفته شود. (مطابق شکل زیر)



شکل (۵ـ۱): جریان سیال از روی یک صفحه افقی توأم با انتقال حرارت

در این حالت طبق تئوری بلازیوس لایه‌های مرزی سیالاتی و حرارتی روی صفحه تشکیل خواهد شد.

تعریف: لایه مرزی سیالاتی، لایه‌ای است که درون آن گرادیان سرعت وجود دارد و درون این لایه نیروهای ویسکوز مؤثر هستند. ضخامت این لایه را با (δ) نشان می‌دهد. در خارج از این لایه سرعت برابر سرعت جریان آزاد سیال (u_∞) است.

$$\begin{cases} \dfrac{\partial v_x}{\partial x}+\dfrac{\partial v_y}{\partial y}=0 & (۵ـ۱۷) \\ v_x\dfrac{\partial v_x}{\partial x}+v_y\dfrac{\partial v_x}{\partial y}=\nu\dfrac{\partial^2 v_x}{\partial y^2}-\dfrac{1}{\rho}\dfrac{\partial P}{\partial x} & (۵ـ۱۸) \\ v_x\dfrac{\partial T}{\partial x}+v_y\dfrac{\partial T}{\partial y}=\alpha\dfrac{\partial^2 T}{\partial y^2}+\dfrac{\mu}{\rho C_p}\left(\dfrac{\partial v_x}{\partial y}\right)^2 & (۵ـ۱۹) \end{cases}$$

در به‌دست آوردن معادلات فوق فرضیات زیر در نظر گرفته شده است:

۱ـ حرکت سیال دوبعدی و پایدار است.

۲ـ سیال تراکم‌ناپذیر است.

۳ـ گرادیان سرعت در راستای y دارای بیشترین سهم است.

۴ـ مؤلفه جاذبه (g) در معادله مومنتم راستای x نقشی ندارد.

۵ـ هدایت حرارتی در راستای y دارای بیشترین اثر است.

۶ـ سیستم فاقد منبع حرارتی $(\dot{q})$ است.

۷ـ ترم تلفات لزجتی با توجه به گرادیان سرعت در راستای y دارای بیشترین سهم است و به شکل $\dfrac{\mu}{\rho C_p}\left(\dfrac{\partial v_x}{\partial y}\right)^2$ درآمده است.

۸ـ انتقال حرارت پایدار است.

اگر کمیت‌های مورد استفاده در معادلات فوق به شکل زیر بی‌بعد گردند:

$$\bar{x}=\frac{x}{L}\ ,\ \bar{y}=\frac{y}{L}\ ,\ \bar{v}_x=\frac{v_x}{u_\infty}\ ,\ \bar{v}_y=\frac{v_y}{u_\infty}\ ,\ \bar{T}=\frac{T-T_\infty}{T_\omega-T_\infty} \qquad (۵ـ۲۰)$$

$$\bar{P}=\frac{P}{\rho u_\infty^2}\ ,\ Re=\frac{u_\infty L}{\nu}\ ,\ pr=\frac{\nu}{\alpha}\ ,\ E_c=\frac{u_\infty^2}{C_p T}$$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

آنگاه معادلات (۵ـ۱۷) تا (۵ـ۱۹) به صورت زیر بی‌بعد می‌گردند:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial \bar{v}_x}{\partial \bar{x}}+\dfrac{\partial \bar{v}_y}{\partial \bar{y}}=0 & (۵ـ۲۱) \\ \bar{v}_x\dfrac{\partial \bar{v}_x}{\partial \bar{x}}+\bar{v}_y\dfrac{\partial \bar{v}_x}{\partial \bar{y}}=\dfrac{1}{Re}\left(\dfrac{\partial^2 \bar{v}_x}{\partial \bar{y}^2}\right)-\dfrac{\partial \bar{p}}{\partial \bar{x}} & (۵ـ۲۲) \\ \bar{v}_x\dfrac{\partial \bar{T}}{\partial \bar{x}}+\bar{v}_y\dfrac{\partial \bar{T}}{\partial \bar{y}}=\dfrac{1}{RePr}\left(\dfrac{\partial^2 \bar{T}}{\partial \bar{y}^2}\right)+\dfrac{2Ec}{Re}\left(\dfrac{\partial \bar{v}_x}{\partial \bar{y}}\right)^2 & (۵ـ۲۳) \end{cases}$$

از معادلات فوق ملاحظه می‌شود که رژیم جریان بستگی به عدد رینولدز دارد (Re) و توزیع دما به اعداد بدون بعد رینولدز (Re) و پرانتل (Pr) بستگی دارد. به همین دلیل است که روابط مربوط به محاسبه h در انتقال حرارت جابجایی اجباری تابعی از اعداد رینولدز و پرانتل است.

$$h=f(Re,Pr) \qquad \text{Forced Convection} \qquad (۵ـ۲۴)$$

۵ـ۴ـ۱ شرط صرف‌نظر کردن از تلفات لزجتی (Φ)

نکته مهم در این مبحث این است که ترم تلفات لزجتی در معادلات انرژی لایه مرزی چه موقع دارای اهمیت است و چه موقع می‌توان از این جمله در مقایسه با هدایت حرارتی صرف‌نظر کرد. اصولاً تلفات لزجتی تحت شرایط زیر دارای اهمیت است:

۱ـ سیال به شدت ویسکوز باشد.

۲ـ گرادیان سرعت درون سیال زیاد باشد

اما اگر ترم تلفات لزجتی در مقایسه با هدایت حرارتی قابل صرف‌نظر کردن باشد آنگاه:

$$\alpha\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}>>\frac{\mu}{\rho C_p}\left(\frac{\partial v_x}{\partial y}\right)^2 \qquad (۵ـ۲۵)$$

به کمک آنالیز مرتبه مقداری، می‌توان نوشت:

$$T\sim T_\infty \quad , \quad v_x\sim u_\infty \quad , \quad y\sim\delta \qquad (۵ـ۲۶)$$

در این صورت:

$$\alpha\frac{T_\infty}{\delta^2}>>\frac{\nu}{C_p}\left(\frac{u_\infty}{\delta}\right)^2 \qquad (۵ـ۲۷)$$

$$\frac{u_\infty^2}{C_p T_\infty}.\frac{\nu}{\alpha}<<1 \qquad (۵ـ۲۸)$$

که $\dfrac{\nu}{\alpha}$ همان عدد پرانتل است و $\dfrac{u_\infty^2}{C_p T_\infty}$ همان عدد اکرت (E_C) است پس:

$$Ec.Pr<<1 \qquad (۵ـ۲۹)$$

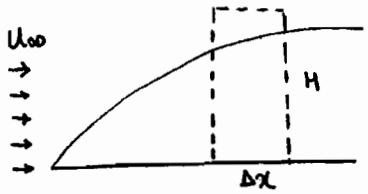
این همان شرط صرف‌نظر کردن از تلفات لزجتی به صورت بی‌بعد است. عدد اکرت (Ec) عبارت است از نسبت انرژی جنبشی به انرژی ذخیره شده.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۵ـ۴ـ۲ روش انتگرالی ون ـ کارمن

با نگاهی مجدد به معادلات مومنتم و انرژی (۵ـ۱۸) و (۵ـ۱۹) برای یک صفحه افقی می‌توان فهمید که حل توأم این معادلات به سادگی امکان‌پذیر نیست. از این‌رو از روش‌های تقریبی برای حل این معادلات استفاده شده است. مهمترین روش تقریبی در حل معادلات انرژی و مومنتم روش ون ـ کارمن است که بر اساس بیلان انتگرالی انرژی و مومنتم استوار است.



شکل (۵ـ۲): المان مورد استفاده برای تقریب ون ـ کارمن

بیلان انتگرالی مومنتم ون ـ کارمن به شرح زیر است: المان انتخاب شده به ابعاد $H,\Delta x$ است. از آنجا که در راستای y دیفرانسیلی نیست از این رو بیلان در این راستا انتگرالی است. معادله انتگرالی مومنتم ون ـ کارمن به فرم زیر است:

$$\frac{d}{dx}\int_0^H u\left(u_\infty - u\right)dy = \nu\left.\frac{du}{dy}\right|_{y=0} \qquad (۵ـ۳۰)$$

اما از آن‌جا که در خارج از لایه مرزی $u=u_\infty$ است پس انتگرال فوق به ازای $y>\delta$ مساوی صفر می‌شود. پس کران بالای انتگرال به δ تغییر می‌یابد.

$$\frac{d}{dx}\int_0^\delta u\left(u_\infty - u\right)dy = \nu\left.\frac{du}{dy}\right|_{y=0} \qquad (۵ـ۳۱)$$

ون ـ کارمن پروفیل سرعت را به صورت زیر حدس زد:

$$u = a + by + cy^2 + dy^3 \qquad (۵ـ۳۲)$$

شرط این‌که پروفیل سرعت فوق جواب معادله انتگرالی مومنتم ون ـ کارمن باشد این است که اولاً شرایط مرزی را ارضا کند، ثانیاً در معادله صدق کند. شرایط مرزی سرعت چنین هستند:

$$y=0 \qquad u=0 \qquad (۵ـ۳۳)$$

$$y=0 \qquad \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}=0 \qquad (۵ـ۳۴)$$

$$y=\delta \qquad u=u_\infty \qquad (۵ـ۳۵)$$

$$y=\delta \qquad \frac{\partial u}{\partial y}=0 \qquad (۵ـ۳۶)$$

با اعمال این شرایط روی پروفیل سرعت (۵-۳۲) معادله زیر حاصل می‌گردد:

$$\frac{u}{u_\infty} = \frac{3}{2}\left(\frac{y}{\delta}\right) - \frac{1}{2}\left(\frac{y}{\delta}\right)^3 \qquad (۵ـ۳۷)$$

اما این معادله هنوز کامل نیست چرا که ضخامت لایه مرزی (δ) هنوز مقداری مجهول است. کافی است این پروفیل سرعت (۵ـ۳۷) در معادله انتگرالی مومنتم ون ـ کارمن (۵ـ۳۱) قرار گیرد در نتیجه مقدار δ به صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$\frac{\delta}{x} = \frac{4.64}{\sqrt{Re_x}} \quad , \quad Re_x = \frac{\rho u_\infty x}{\mu} \qquad (۵ـ۳۸)$$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

ملاحظه می‌شود که δ متناسب با $\sqrt{x}$ زیاد می‌شود. بعدها ثابت شد که اگر معادله مومنتم به صورت دقیق حل شود، معادله δ به صورت زیر در می‌آید که تفاوت چندانی با حل تقریبی آن ندارد:

$$\frac{\delta}{x}=\frac{5}{\sqrt{Re_x}} \qquad (۳۹_۵)$$

ون ـ کارمن برای لایه مرزی حرارتی هم المانی به ابعاد Δx , $H>\delta_t$ در نظر گرفت و بیلان انتگرالی انرژی را به فرم زیر نوشت:

$$\frac{d}{dx}\int_0^{\delta_t} u\left(T-T_\infty\right)dy=\alpha\left.\frac{\partial T}{\partial y}\right|_{y=0} \qquad (۴۰_۵)$$

δ_t ضخامت لایه مرزی حرارتی است. ون ـ کارمن معادله توزیع دما را به‌صورت زیر حدس زد:

$$T=A+By+Cy^2+Dy^3 \qquad (۴۱_۵)$$

شرایط مرزی دمایی برای صفحه افقی با دمای ثابت دیواره به صورت زیر است:

$$y=0 \qquad T=T_w \qquad (۴۲_۵)$$

$$y=0 \qquad \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}=0 \qquad (۴۳_۵)$$

$$u=\delta_t \qquad T=T_\infty \qquad (۴۴_۵)$$

$$y=\delta_t \qquad \frac{\partial T}{\partial y}=0 \qquad (۴۵_۵)$$

با اعمال شرایط مرزی فوق معادله توزیع دما به‌دست می‌آید:

$$\frac{T-T_w}{T_\infty-T_w}=\frac{3}{2}\left(\frac{y}{\delta_t}\right)-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\delta_t}\right)^3 \qquad (۴۶_۵)$$

اینک کافی است این تغییرات سرعت و دما را در معادله انتگرالی انرژی ون ـ کارمن (۵ ـ ۴۰) قرار داد که پس از ساده‌سازی‌های ریاضی رابطه زیر حاصل می‌گردد:

$$\frac{\delta_t}{\delta}=\frac{1}{1.026}Pr^{-\frac{1}{3}} \qquad (۴۷_۵)$$

از معادله بالا معلوم می‌شود که نسبت ضخامت لایه مرزی حرارتی به سیالاتی به عدد پرانتل بستگی دارد و این رابطه برای سیالات مختلف به قرار زیر است:

$$\text{مایعات} \qquad Pr>1 \qquad \delta>\delta_t \qquad (۴۸_۵)$$

$$\text{گازها} \qquad Pr\approx 1 \qquad \delta=\delta_t \qquad (۴۹_۵)$$

$$\text{فلزات مایع} \qquad Pr<1 \qquad \delta<\delta_t \qquad (۵۰_۵)$$

پس ضخامت لایه مرزی حرارتی با توجه به معادلات (۵ـ۳۸) و (۵ـ۴۷) به صورت زیر در می‌آید:

$$\delta_t=\frac{Pr^{-\frac{1}{3}}}{1.026}\cdot\frac{4.64x}{\sqrt{Re_x}} \qquad (۵۱_۵)$$

اکنون با مشخص شدن توزیع دما به راحتی می‌توان ضریب انتقال حرارت کنوکسیونی را از معادلات (۵ـ۳) و (۵ـ۴۶) محاسبه کرد:

$$h=\frac{-k\left.\frac{\partial T}{\partial y}\right|_{y=0}}{T_w-T_\infty}=\frac{3K}{2\delta_t} \qquad (۵۲_۵)$$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

و با جانشانی δ_t از معادلات (۵ـ۵۱) و (۵ـ۵۲) مقادیر h و Nu محاسبه می‌گردد:

$$h=0.332\left(\frac{k}{x}\right).Re^{\frac{1}{2}}.Pr^{\frac{1}{3}} \qquad (۵ـ۵۳)$$

$$Nu_x=\frac{hx}{k}=0.332\ Re^{\frac{1}{2}}.Pr^{\frac{1}{3}} \qquad (۵ـ۵۴)$$

که Nu همان عدد ناسلت است که عبارت است از توان جابجایی سیال نسبت به توان هدایتی آن. از معادله فوق ملاحظه می‌شود که ضریب انتقال حرارت جابجایی (h) با عکس $\sqrt{x}$ متناسب است و به عبارتی:

$$h\sim\frac{1}{\sqrt{x}} \qquad (۵ـ۵۵)$$

با افزایش x در طول صفحه ضریب انتقال حرارت جابجایی (h) کاهش می‌یابد و این امر از لحاظ فیزیکی هم قابل توجیه است چرا که هر چه سیال در طول صفحه پیش می‌رود تمایل‌اش برای گرفتن حرارت کم می‌شود. پس به دلیل اینکه h در طول صفحه روند نزولی دارد برای مخاسبه انتقال حرارت باید یک $\bar{h}$ (متوسط) در طول صفحه تعریف شود:

$$\bar{h}=\frac{\int_0^L h_x\,dx}{\int_0^L dx} \qquad (۵ـ۵۶)$$

کافی است h_x را از معادله مربوطه در معادله (۵ـ۵۹) جانشین کرد. مثلاً برای معادله مربوط به h صفحه (۵ـ۵۶) مقدار $\bar{h}$ برابر است با:

$$\bar{h}=\frac{\int_0^L 0.332\left(\frac{k}{x}\right)Re_x^{\frac{1}{2}}.Pr^{\frac{1}{3}}.dx}{\int_0^L dx}$$

$$\bar{h}=2\times0.332\left(\frac{k}{L}\right)Re_L^{\frac{1}{2}}.Pr^{\frac{1}{3}}$$

$$\bar{h}=2h_{x=L} \qquad (۵ـ۵۷)$$

یعنی ضریب متوسط انتقال حرارت (h) در طول صفحه دو برابر مقدار موضعی آن است. در حالت کلی اگر عدد ناسلت (Nu) متناسب با x^n باشد آن‌گاه:

$$Nu=ax^n \qquad (۵ـ۵۸)$$

$$Nu=\frac{hx}{k}\ \rightarrow\ h=akx^{n-1}$$

$$\bar{h}=\frac{1}{L}\int_0^L akx^{n-1}dx\ \rightarrow\ \bar{h}=\frac{ak}{nL}L^n=\frac{akL^{n-1}}{n}$$

$$\bar{h}=\frac{1}{n}h_{x=L} \qquad (۵ـ۵۹)$$

به عبارتی کافی است به معادله مربوط به Nu نگاه کنیم اگر Nu با x^n متناسب باشد $\bar{h}$ (متوسط)، $\frac{1}{n}$ برابر مقدار موضعی آن $\left(h_{x=L}\right)$ است.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۵ـ۵ صفحه افقی با شار ثابت در دیواره و جریان آرام

در این حالت شکل پروفیل سرعت، تغییر نمی‌کند چرا که شرایط مرزی سرعت و معادله انتگرالی مومنتم تغییری نکرده‌اند. فقط شرایط مرزی دمایی به شکل زیر تغییر می‌کنند:

$$y=0 \qquad -k\frac{\partial T}{\partial y}=q'' \tag{۶۰ـ۵}$$

$$y=0 \qquad \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}=0 \tag{۶۱ـ۵}$$

$$y=\delta_t \qquad T=T_\infty \tag{۶۲ـ۵}$$

$$y=\delta_t \qquad \frac{\partial T}{\partial y}=0 \tag{۶۳ـ۵}$$

اگر معادله توزیع دما (۵ـ۴۱) را به کمک شرایط مرزی بالا به‌دست آورده و در معادله انتگرالی انرژی ون ـ کارمن (۵ـ۴۰) قرار داده شود پس از همه ساده‌سازی‌های ریاضی معادله Nu به فرم زیر به‌دست می‌آید:

$$Nu=0.453\,Re^{\frac{1}{2}}.Pr^{\frac{1}{3}} \tag{۶۴ـ۵}$$

معادله فوق نشان می‌دهد در حالت شار ثابت در دیواره نیز h با x روند نزولی دارد. از بیلان انرژی در دیواره جسم در حالت شار ثابت می‌توان نوشت:

$$q''=h\left(T_w-T_\infty\right) \tag{۶۵ـ۵}$$

از آن‌جا که q'' مقداری ثابت است و h با $\frac{1}{\sqrt{x}}$ متناسب است پس می‌توان گفت که دمای دیواره متناسب با $\sqrt{x}$ زیاد می‌شود. یعنی در حالت شار حرارتی ثابت دیواره در طول صفحه، دمای صفحه زیاد می‌شود. این ازدیاد دما برای ثابت نگه داشتن q'' در اثر کاهش h می‌باشد.

۵ـ۶ آنالوژی رینولدز ـ کلبرن

در مکانیک سیالات ضریب اصطکاک طبق معادله زیر بیان می‌شود:

$$C_f=\frac{\tau_w}{\frac{\rho u_\infty^2}{2}}=\frac{\mu\left.\frac{\partial u}{\partial y}\right|_{y=0}}{\frac{\rho u_\infty^2}{2}} \tag{۶۶ـ۵}$$

C_f ضریب اصطکاک و τ_w تنش در دیواره است.

اگر معادله فوق برای جریان آرام سیال از روی یک صفحه افقی استفاده شود آنگاه مقدار آن از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$C_f=\frac{\mu\left[\frac{3u_\infty}{2\delta}\right]}{\frac{\rho u_\infty^2}{2}} \tag{۶۷ـ۵}$$

$$\frac{C_f}{2}=\frac{3\mu}{2\rho u_\infty\times\frac{4.64x}{\sqrt{Re_x}}}=0.332\,Re^{-\frac{1}{2}} \tag{۶۸ـ۵}$$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

از طرفی با توجه به تعریف Nu برای حالت دما ثابت و قرار دادن در رابطه زیر می‌توان گفت:

$$\frac{Nu}{Re.Pr}.Pr^{\frac{2}{3}}=\frac{0.332Re^{\frac{1}{2}}.Pr^{\frac{1}{3}}}{Re.Pr}.Pr^{\frac{2}{3}}=0.332Re^{-\frac{1}{2}} \quad (۶۹_۵)$$

از مقایسه معادلات فوق ملاحظه می‌شود:

$$\frac{Nu}{Re.Pr}.Pr^{\frac{2}{3}}=\frac{C_f}{2} \quad (۷۰_۵)$$

گروه بدون بعد $\frac{Nu}{Re.Pr}$ عدد استانتون (St) نامیده می‌شود و به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$St=\frac{Nu}{Re.Pr}=\frac{h}{\rho u_\infty C_p} \quad (۷۱_۵)$$

به این ترتیب آنالوژی رینولدز ـ کلبرن به شکل زیر بیان می‌شود:

$$St.Pr^{\frac{2}{3}}=\frac{C_f}{2} \quad (۷۲_۵)$$

این آنالوژی ارتباط میان ضریب انتقال حرارت (h) (که در عدد استانتون مستتر است.) را با ضریب اصطکاک (که یک کمیت سیالاتی است) بیان می‌کند، به عبارتی با اندازه‌گیری یا محاسبه ضریب اصطکاک می‌توان ضریب انتقال حرارت را اندازه گرفت. آنالوژی رینولدز ـ کلبرن در تمام شرایط بجز جریان آرام درون لوله‌ها صادق است.

مثال ۱: اگر افت فشار در مسیر حرکت سیالی دو برابر شود ضریب انتقال حرارت چگونه تغییر می‌کند؟

حل : هم‌چنان‌که از مکانیک سیالات می‌دانیم:

$$C_f \alpha \frac{\Delta P}{L} \quad \text{(سیالات)} \quad (۷۳_۵)$$

$$h \alpha C_f \quad \text{(آنالوژی رینولدز ـ کلبرن)} \quad (۷۴_۵)$$

پس خواهیم داشت:

$$h \alpha \frac{\Delta P}{L} \quad (۷۵_۵)$$

یعنی ضریب انتقال حرارت (h) با افت فشار نسبت مستقیم دارد. از این‌رو در این حالت ضریب انتقال حرارت (h) دو برابر می‌شود.

مثال ۲: اگر زبری نسبی سطح دو برابر شود ضریب انتقال حرارت چگونه تغییر می‌کند؟

باز هم از مکانیک سیالات می‌دانیم دو برابر شدن زبری نسبی باعث ازدیاد ضریب اصطکاک می‌شود اما نه دقیقاً به اندازه دو برابر، از این رو فقط می‌توان گفت با دو برابر شدن زبری نسبی، ضریب انتقال حرارت جابجایی (h) زیاد می‌شود.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۵ـ۷ تشابه *(Similarity)*

فرم کلی معادلات مومنتم، انرژی و جرم در زیر آمده است:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial \vec{v}}{\partial t}+\vec{v}.\nabla\vec{v}=\nu\nabla^2\vec{v}-\dfrac{1}{\rho}\nabla P+\vec{f} \\ \dfrac{\partial T}{\partial t}+\vec{v}.\nabla T=\alpha\nabla^2 T+\dfrac{\dot{q}}{\rho C_p}+\dfrac{\Phi}{\rho C_p} \\ \dfrac{\partial C_A}{\partial t}+\vec{v}.\nabla C_A=D_{AB}\nabla^2 C_A+R_A \end{cases} \qquad (۷۶ـ۵)$$

که در معادله (۵ـ۷۶)

D_{AB}= ضریب نفوذ انتقال جرم

R_A = سرعت واکنش تولید A

با اعمال فرضیات زیر روی معادلات سه گانه فوق می‌توان فرم بی‌بعد پروفیل‌های سرعت، دما و غلظت را به‌دست آورد.

۱ـ $f=\nabla P=\Phi=\dot{q}=R_A=0$

۲ـ $\nu=\alpha=D_{AB}$ یا به عبارتی $Pr=1 \quad , \quad Sc=1 \quad , \quad Le=1$

۳ـ شرایط مرزی و اولیه معادلات به شکل بی‌بعد یکسان باشد.

۴ـ شدت‌های کم انتقال

در این صورت شکل بی‌بعد پروفیل‌های سرعت $\left(\dfrac{u}{u_\infty}\right)$، دما $\left(\dfrac{T-T_w}{T_\infty-T_w}\right)$ و غلظت $\left(\dfrac{C_A-C_{AW}}{C_{A\infty}-C_{AW}}\right)$ یکسان خواهد بود. و از روابط مربوط به یکی می‌توان در محاسبه دیگری استفاده کرد.

۵ـ۸ جریان درهم روی صفحه افقی

در جریان سیال از روی یک صفحه افقی اگر عدد رینولدز از 5×10^5 فراتر رود جریان سیال درهم می‌شود.

$$Re=\frac{\rho u_\infty x}{\mu}>5\times10^5 \qquad (۷۷ـ۵)$$

در این حالت پروفیل سرعت مورد استفاده در معادله ون ـ کارمن به صورت زیر است:

$$\frac{u}{u_\infty}=\left(\frac{y}{\delta}\right)^{\frac{1}{7}} \qquad (۷۸ـ۵)$$

البته معادله فوق یک معادله تقریبی است و در محاسبه طرف راست معادله انتگرالی مومنتم ون ـ کارمن (یعنی $\mu\left.\dfrac{\partial u}{\partial y}\right|_{y=0}$) دچار مشکل می‌شود.

$$\tau_w=\mu\left.\frac{\partial u}{\partial y}\right|_{y=0}=\infty \qquad (۷۹ـ۵)$$

از این‌رو نمی‌توان تنش در دیواره (τ_w) را از این معادله محاسبه کرد. اما از روابط جریان درهم درمکانیک سیالات می‌دانیم که:

$$\frac{C_f}{2}=0.0296\,Re^{-\frac{1}{5}} \qquad (۸۰ـ۵)$$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

در نتیجه:

$$\tau_w = C_f . \frac{\rho u_\infty^2}{2} \qquad (۸۱_۵)$$

$$\tau_w = 0.0296 \ \mathrm{Re}^{-\frac{1}{5}} \left(\rho u_\infty^2\right) \qquad (۸۲_۵)$$

با قرار دادن پروفیل سرعت جریان درهم و نیز τ_w در معادله انتگرالی مومنتم ون ـ کارمن رابطه زیر حاصل می‌گردد:

$$\frac{d\delta}{dx} = \frac{72}{7}(0.0296)\left(\frac{\nu}{u_\infty}\right)^{\frac{1}{5}} x^{\frac{1}{5}} \qquad (۸۳_۵)$$

معادله بالا به کمک شرط مرزی زیر حل می‌شود:

حالت اول: جریان سیال از ابتدا ناآرام باشد:

$$\delta\Big|_{x=0} = 0 \qquad (۸۴_۵)$$

حالت دوم: جریان پس از طی طول x_c ناآرام شود:

$$\delta\Big|_{x=x_c} = \delta_{lam} = \frac{4.64\, x_c}{\sqrt{5\times10^5}} \qquad (۸۵_۵)$$

$$x_c = \frac{5\times10^5 \mu}{\rho u_\infty} \qquad (۸۶_۵)$$

بسته به این‌که از کدام یک از شرایط مرزی فوق استفاده شود؛ معادله تغییرات δ به یکی از صورت‌های زیر در می‌آید:

$$\frac{\delta}{x} = 0.381.\mathrm{Re}^{-\frac{1}{5}} \qquad (۸۷_۵)$$

$$\frac{\delta}{x} = 0.381.\mathrm{Re}^{-\frac{1}{5}} - 10256.\mathrm{Re}^{-1} \qquad (۸۸_۵)$$

یعنی در جریان درهم، δ با $x^{\frac{4}{5}}$ متناسب است. اما برای محاسبه عدد ناسلت از آنالوژی رینولدز ـ کلبرن استفاده می‌شود یعنی معادله (۵ ـ ۷۲):

$$\frac{Nu}{Re\,Pr}.Pr^{\frac{2}{3}} = \frac{C_f}{2} = 0.0296\,Re^{-\frac{1}{5}} \qquad (۸۹_۵)$$

$$Nu = 0.0296\ \mathrm{Re}^{\frac{4}{5}}.Pr^{\frac{1}{3}} \qquad (۹۰_۵)$$

یعنی در جریان درهم، h با $\frac{1}{x^{\frac{1}{5}}}$ متناسب است. رابطه میان $\bar{h}$ (متوسط) و h (موضعی) به صورت زیر است:

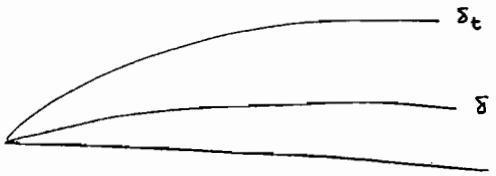
$$\bar{h} = \frac{5}{4} h_{x=L} \qquad (۹۱_۵)$$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۵ـ۹ انتقال حرارت در فلزات مایع

فلزات مایع به دلیل داشتن ضریب هدایت حرارتی بالا (k) دارای اعداد پرانتل بسیار کوچکی هستند از این رو در این مایعات نفوذ حرارت سریع‌تر از نفوذ مومنتم است و به واقع ضخامت لایه مرزی حرارتی بسیار بیشتر از لایه مرزی سیالاتی است. $(\delta_t >> \delta)$



شکل (۵ـ۳): لایه مرزی حرارتی و سیالاتی در فلزات مایع

در این حالت با نگاهی مجدد به معادله انتگرالی انرژی ون ـ کارمن (۵ـ۴۰) مشاهده می‌شود که شکل پروفیل سرعت، درون لایه مرزی حرارتی یکسان باقی نمی‌ماند:

$$0<y<\delta \qquad \frac{u}{u_\infty}=\frac{3}{2}\left(\frac{y}{\delta}\right)-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\delta}\right)^3 \qquad \text{و} \qquad \delta<y<\delta_t \qquad u=u_\infty$$

از این‌رو باید ترم انتگرال در معادله انرژی ون ـ کارمن به دو قسمت شکسته شود:

$$\frac{d}{dx}\left\{\int_0^{\delta} u_\infty\left[\frac{3}{2}\left(\frac{y}{\delta}\right)-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\delta}\right)^3\right]\left(T-T_\infty\right)dy+\int_{\delta}^{\delta_t} u_\infty\left(T-T_\infty\right)dy\right\}=\alpha\left.\frac{\partial T}{\partial y}\right|_{y=0} \qquad (۹۲ـ۵)$$

اما ون ـ کارمن برای جریان سیال روی صفحه از یک نوع پروفیل سرعت استفاده کرد و انتگرال را به دو بخش تقسیم نکرد. این امر عملاً به این معنی است که ون ـ کارمن شکل پروفیل سرعت را در سرتاسر لایه مرزی یکسان فرض کرده است. به عبارت دیگر فرض کرده است که لایه مرزی حرارتی درون لایه مرزی سیالاتی قرار بگیرد (یعنی $\delta>\delta_t$, $Pr>1$). در واقع این یک شرطی است که در معادله ون ـ کارمن مستتر است. در نتیجه نمی‌توان از معادله ون ـ کارمن برای فلزات مایع استفاده کرد. برای فلزات مایع باید انتگرال فوق را حساب کرد که نتیجه به صورت زیر خواهد شد:

$$\delta_t=\sqrt{\frac{8\alpha x}{u_\infty}} \qquad (۹۳ـ۵)$$

$$\frac{\delta}{\delta_t}=1.64\sqrt{Pr} \qquad (۹۴ـ۵)$$

$$Nu=0.53\left(Re_x.Pr\right)^{\frac{1}{2}} \qquad (۹۵ـ۵)$$

$$Nu_x=0.53\sqrt{Pe} \quad , \quad Pe=Re.Pr \qquad (۹۶ـ۵)$$

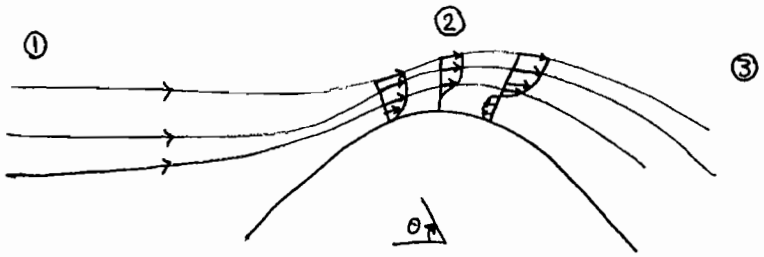
یعنی عدد ناسلت تابعی از عدد پکله (Pe) است.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۵ـ۱۰ انتقال حرارت از سطوح منحنی

اگر جریانی از سیال مطابق شکل از روی یک سطح منحنی (استوانه، کره، ...) عبور کند،



شکل (۵ـ۴): انتقال حرارت از روی سطوح منحنی

هم‌چنان‌که در شکل فوق ملاحظه می‌شود هر چه سیال به سمت بالای سطح منحنی حرکت می‌کند خطوط جریان (Stream Line) به هم نزدیک می‌شوند و سطح مقطع جریان کم می‌شود. از این‌رو طبق معادله پیوستگی هر چه سطح مقطع کوچکتر شود سرعت جریان سیال بیشتر می‌شود. با این توضیح:

$$u_1 < u_2 > u_3 \qquad (۹۷ـ۵)$$

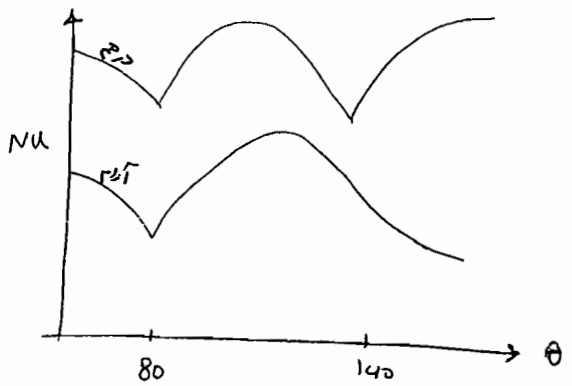
از طرفی بر طبق معادله برنولی در مکانیک سیالات هر چه سرعت جریان سیال زیاد شود فشار کاهش می‌یابد و بالعکس.

$$P_1 > P_2 < P_3 \qquad (۹۸ـ۵)$$

در ناحیه بین ۲ و ۳ هر چه سیال به سمت ۳ پیش رود فشار افزایش می‌یابد و از طرفی طبق معادله برنولی برای جبران ازدیاد فشار، سرعت جریان سیال کاهش می‌یابد. اما می‌دانید که حداکثر مقدار کاهش سرعت، صفر شدن آن می‌باشد. در نتیجه فشار به جایی می‌رسد که صفر شدن سرعت هم جواب‌گوی ازدیاد آن نخواهد بود در نتیجه به ناچار قسمتی از جریان سیال در مسیر عکس حرکت بالک حرکت می‌کند. در این حالت گفته می‌شود جریان سیال جدا شده است (Separation) و نقطه‌ای را که در آن این اتفاق می‌افتد نقطه جدایی گویند. در نقطه جدایی شرط زیر ایجاد می‌گردد:

$$\left.\frac{\partial u}{\partial y}\right|_{wall} = 0 \qquad (۹۹ـ۵)$$

ویژگی نقطه جدایی این است که به واسطه برگشتن جریان سیال ضخامت لایه مرزی کاهش می‌یابد. در نتیجه یک جهش در ضریب انتقال حرارت جابجایی (h) اتفاق می‌افتد. در شکل زیر تغییرات h را بر حسب θ (زاویه) بر جریان در عرض استوانه نشان داده شده است.



پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

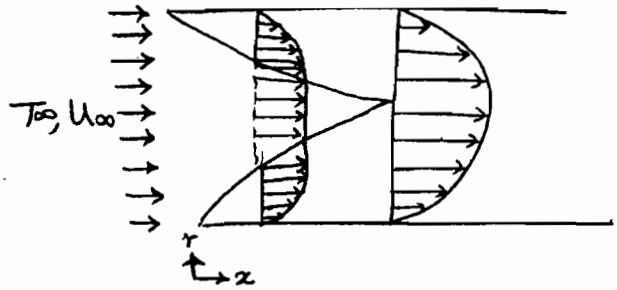
شکل (۵ـ۵): تغییرات عدد ناسلت بر حسب زاویه برای جریان از روی سطح منحنی

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

اگر جریان سیال آرام باشد منحنی h (یا Nu) دارای یک جهش در $\theta=80^\circ$ است که این جهش به واسطه جدایی جریان سیال است. اما اگر جریان سیال در اعداد رینولدز بالا برآورد شود، دو نقطه می‌نیمم در منحنی تغییرات h وجود دارد. یکی به واسطه درهم شدن جریان سیال که در $\theta=80^\circ$ اتفاق می افتد و دیگری در $\theta=140$ اتفاق می‌افتد که مربوط به جدایی جریان درهم می‌شود.

۵ـ۱۱ جریان در لوله‌ها

جریان سیالی با سرعت u_∞ و دمای T_∞ را در نظر بگیرید که وارد لوله‌ای به شعاع R می‌شود که هنگام ورود سیال به درون لوله، در دیواره لوله به علت شرط عدم لغزش سیال (No Slip) سرعت جریان سیال صفر می‌شود و در نتیجه به واسطه نیروهایی که در اثر گرادیان سرعت ایجاد می‌شوند سرعت لایه‌های بعدی سیال هم کم می‌شود؛ در نتیجه لایه مرزی سیالاتی تشکیل می‌شود. در شکل زیر شکل لایه مرزی هیدرودینامیکی درون لوله نشان داده شده است.



شکل (۵ـ۶): پروفیل سرعت درون لوله و ناحیه ورودی

مطابق شکل به تدریج که در طول لوله پیش می‌رویم لایه مرزی رشد کرده تا این‌که ضخامت لایه مرزی برابر شعاع (R) شود. در این حالت شکل پروفیل سرعت کامل شده و اصطلاحاً گفته می‌شود جریان سیال توسعه پیدا کرده است. (Fully Develop Flow) هنگامی که جریان سیال توسعه یافته باشد شکل پروفیل سرعت بدون تغییر باقی می‌ماند و به عبارتی:

$$\frac{\partial u}{\partial x}=0 \ (\text{Fully Develop}) \qquad (۱۰۰ـ۵)$$

که u مؤلفه سرعت در راستای x است. طول لازم برای توسعه یافتگی جریان سیال درون لوله‌ها از معادله زیر به‌دست می‌آید:

$$\frac{x_{fd,h}}{D}=0.05\,Re_D \qquad (۱۰۱ـ۵)$$

که در معادله بالا

D = قطر لوله

Re_D = عدد رینولدز بر مبنای قطر $\left(\frac{\rho u D}{\mu}\right)$

$x_{fd,h}$ = طول لازم برای توسعه یافتگی سیالاتی

هم‌چنان‌که در مباحث مکانیک سیالات دیده می‌شود در ناحیه توسعه یافتگی پروفیل از معادله زیر پیروی می‌کند:

$$u=2u_m\left[1-\left(\frac{r}{R}\right)^2\right] \qquad (۱۰۲ـ۵)$$

u_m = سرعت متوسط

R = شعاع لوله

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۵ـ۱۱ـ۱ مفهوم توسعه یافتگی حرارتی

به دلیل اختلاف دمای جریان سیال ورودی به لوله با دمای دیواره لوله در لایه‌های سیال اختلاف دما ایجاد می‌شود. لایه‌ای از سیال که درون آن گرادیان دما وجود دارد لایه مرزی حرارتی گفته می‌شود. مطابق آنچه در جریان سیال از روی صفحات گفته شد لایه مرزی به تدریج رشد می‌کند. هنگامی که ضخامت لایه مرزی درون لوله برابر شعاع لوله $(\delta_t = R)$ می‌شود، لایه مرزی سرتاسر لوله را فرا می‌گیرد و جریان سیال از حیث حرارتی توسعه یافته می‌شود. اما این توسعه یافتگی حرارتی به این معنی نیست که در ناحیه توسعه یافته دما ثابت می‌ماند. (مشابه توسعه یافتگی سیالاتی) بلکه به دلیل انتقال حرارت در طول لوله به طور قطع و یقین می‌توان گفت که دما تغییر می‌کند. از این رو شرط توسعه یافتگی حرارتی ثابت بودن دما نیست بلکه ثابت ماندن شکل بی‌بعد تغییرات دماست:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{T_s - T}{T_s - T_m}\right) = 0 \qquad (۱۰۳_۵)$$

T_s = دمای دیواره لوله

T_m = دمای متوسط بالک

T = دمای هر نقطه به مختصات (r, x) درون لوله

طول لازم برای توسعه یافتگی حرارتی جریان سیال درون لوله از معادله زیر به‌دست می‌آید:

$$\frac{x_{fd,t}}{D} = 0.05 Re_D Pr \qquad (۱۰۴_۵)$$

که در معادله بالا

Pr = عدد پرانتل

$x_{fd,t}$ = طول لازم برای توسعه یافتگی حرارتی

سؤالی که مطرح می‌شود این است که جریان سیال ابتدا از حیث حرارتی توسعه یافته می‌شود یا از حیث سیالاتی؟ کافی است به عدد پرانتل سیال توجه شود:

$$\frac{x_{fd,t}}{x_{fd,h}} = Pr \qquad (۱۰۵_۵)$$

$x_{fd,t} > x_{fd,h}$ $\quad Pr > 1$ $\quad$ مایعات $\qquad (۱۰۶_۵)$

$x_{fd,t} = x_{fd,h}$ $\quad Pr = 1$ $\quad$ گازها $\qquad (۱۰۷_۵)$

$x_{fd,t} < x_{fd,h}$ $\quad Pr < 1$ $\quad$ فلزات مایع $\qquad (۱۰۸_۵)$

دمای متوسط بالک (T_m) متوسط دما سیال در هر مقطع از لوله است و از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$T_m = \frac{\int_0^R \rho u (2\pi r dr) C_p T}{\int_0^R \rho u (2\pi r dr)} = \frac{4}{u_m R^2} \int_0^R ur\, C_p\, T dr \qquad (۱۰۹_۵)$$

که U_m سرعت متوسط سیال است. برای محاسبه T_m نیاز است که پروفیل سرعت و دما معلوم باشد.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

مسئله: نشان دهید در جریان توسعه یافته سیال درون لوله‌ها h ثابت باقی می‌ماند.

از بیلان انرژی برای لایه سیال چسبیده به سطح داخلی لوله مقدار h به صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$h=\frac{-k\left.\frac{\partial T}{\partial r}\right|_{r=R}}{T_s-T_m} \qquad (۱۱۰_۵)$$

با توجه به شرط توسعه یافتگی حرارتی سیال (۵ـ۱۰۳) می‌توان گفت که دمای بی‌بعد تابع مکان نیست:

$$\left(\frac{T_s-T}{T_s-T_m}\right)\neq f(x) \qquad (۱۱۱_۵)$$

و اگر از عبارت فوق نسبت به r مشتق گرفته شود باز هم تابع x نخواهد بود:

$$\frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{T_s-T}{T_s-T_m}\right)_{r=R}\neq g(x) \qquad (۱۱۲_۵)$$

و از آن‌جا که T_s و T_m مستقل از r هستند پس:

$$\frac{-\left.\frac{\partial T}{\partial r}\right|_{r=R}}{T_s-T_m}\neq f_1(x) \qquad (۱۱۳_۵)$$

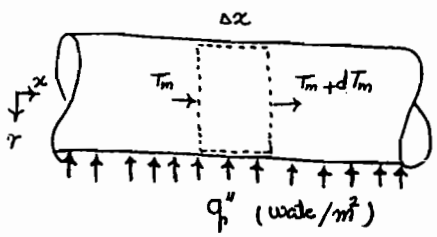
از مقایسه معادله (۵ـ۱۱۳) و تعریف h (۵ـ۱۱۰) می‌توان گفت که h نیز تابعیت مکانی ندارد.

$$h=k\frac{-\left.\frac{\partial T}{\partial r}\right|_{r=R}}{T_s-T_m}\neq f_2(x) \qquad (۱۱۴_۵)$$

از این رو در جریان سیال توسعه یافته (حرارتی) درون لوله‌ها ضریب انتقال حرارت کنوکسیونی مستقل از طول (x) است. به این معنی که در ابتدای لوله به علت وجود اثرات ابتدایی و انتهایی h روند نزولی داشته و در ناحیه توسعه یافته حرارتی مقدار h ثابت باقی می‌ماند.

۵ـ۱۱ـ۲ شار حرارتی ثابت در دیواره لوله

اگر در دیواره لوله مطابق شکل زیر شرایط شار حرارتی ثابت برقرار باشد، بیلان انرژی برای این سیستم به صورت زیر نوشته می‌شود:



شکل (۵ـ۷): لوله با شار حرارتی ثابت در دیواره

$$\dot{m}C_p\,dT_m=q''Pdx=hpdx\left(T_s-T_m\right) \qquad (۱۱۵_۵)$$

P = محیط لوله است.

$\dot{m}$ = دبی جرمی سیال

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

در نتیجه:

$$\frac{dT_m}{dx}=\frac{q''P}{\dot{m}C_p}=cte \qquad (۱۱۶_۵)$$

$$T_m=T_{mi}+\frac{q''P}{\dot{m}C_p}x \qquad (۱۱۷_۵)$$

یعنی در جریان سیال درون لوله‌ها در حالت شار حرارتی ثابت، تغییرات دمای متوسط بالک (T_m) بر حسب x خطی است. به عبارتی T_m درون لوله به طور خطی تغییر می‌کند خواه جریان سیال توسعه یافته باشد یا نباشد.

$$q''Pdx=h(T_s-T_m)Pdx \qquad (۱۱۸_۵)$$

$$T_s-T_m=\frac{q''}{h} \qquad (۱۱۹_۵)$$

از آن‌جا که در جریان توسعه یافته حرارتی درون لوله (h) ثابت است پس:

$$T_s-T_m=cte \qquad (۱۲۰_۵)$$

$$\frac{dT_s}{dx}=\frac{dT_m}{dx} \qquad (۱۲۱_۵)$$

یعنی در جریان توسعه یافته در حالت شار ثابت، T_s هم خطی است به موازات T_m و در ناحیه توسعه نیافته چون h روند نزولی دارد پس T_s-T_m روند صعودی دارد. در ناحیه توسعه یافته حرارتی با توجه به تعریف شرط توسعه یافتگی می‌توان گفت:

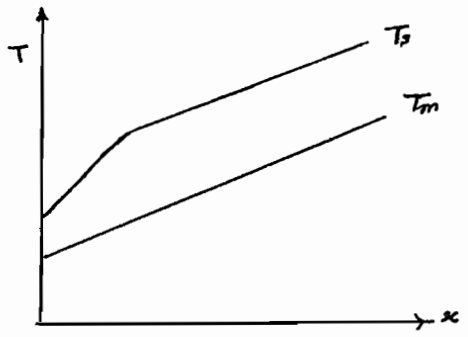
$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{T_s-T}{T_s-T_m}\right)=0$$

$$\frac{\partial T}{\partial x}=\frac{\partial T_s}{\partial x}-\left(\frac{T_s-T}{T_s-T_m}\right)\frac{\partial T_s}{\partial x}+\left(\frac{T_s-T}{T_s-T_m}\right)\frac{\partial T_m}{\partial x} \qquad (۱۲۲_۵)$$

با توجه به این‌که $\frac{\partial T_s}{\partial x}=\frac{\partial T_m}{\partial x}$ است پس:

$$\frac{\partial T}{\partial x}=\frac{\partial T_s}{\partial x} \qquad (۱۲۳_۹)$$

یعنی T هم خطی است به موازات T_s و T_m به شرطی که جریان سیال توسعه یافته باشد. منحنی‌های توزیع دما در حالت شار ثابت در زیر نشان داده شده است:



شکل (۵ـ۸): تغییرات دمای بالک و دیواره لوله در حالت شار ثابت در دیواره

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۵ـ۱۱ـ۳ دمای ثابت در دیواره لوله

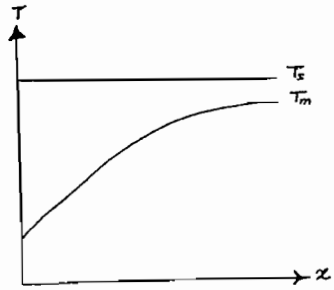
اگر در دیواره لوله شرایط دمای ثابت برقرار باشد، بعد از برقراری موازنه انرژی در سیستم معادله زیر حاصل می‌گردد:

$$\dot{m}C_p dT_m = h\left(T_s - T_m\right)Pdx \qquad (۱۲۴ـ۵)$$

$$\frac{dT_m}{T_s - T_m} = \frac{hP}{\dot{m}C_p}dx \qquad (۱۲۵ـ۵)$$

$$\frac{T_s - T_m}{T_s - T_{mi}} = \exp\left(-\frac{hP}{\dot{m}C_p}x\right) \qquad (۱۲۶ـ۵)$$

که T_{mi} دمای سیال در ورودی لوله است. در معادله فوق فرض شده است که h تابع x نیست، یعنی شرایط توسعه یافتگی برقرار است. از معادله فوق ملاحظه می‌شود که تغییرات دمای سیال درون لوله بر حسب x اکسپونانسیالی است.



شکل (۵ـ۹): تغییرات دمای بالک و دیواره در حالت دمای ثابت دیواره

معادله فوق را به شکل زیر می‌توان بازنویسی کرد:

$$\dot{m} = \rho u_m \frac{\pi D^2}{4} \qquad P = \pi D \qquad (۱۲۷ـ۵)$$

$$\Delta T_0 = T_s - T_{mo} \qquad \Delta T_i = T_s - T_{mi} \qquad (۱۲۸ـ۵)$$

$$\mathrm{Ln}\frac{\Delta T_0}{\Delta T_i} + \frac{h}{\rho u_m C_p}.\frac{4L}{D} = 0 \qquad (۱۲۹ـ۵)$$

$$\mathrm{Ln}\frac{\Delta T_0}{\Delta T_i} + \mathrm{St}.\frac{4L}{D} = 0 \qquad (۱۳۰ـ۵)$$

۵ـ۱۱ـ۴ محاسبه عدد ناسلت برای جریان آرام درون لوله‌ها

هم‌چنان‌که در ابتدای فصل جابجایی اجباری گفته شد محاسبه عدد ناسلت یا ضریب انتقال حرارت کنوکسیونی از طریق بیلان‌های پیوستگی، مومنتم و انرژی ممکن است:

$$h = \frac{-k\left.\frac{\partial T}{\partial r}\right|_{r=R}}{T_s - T_m}$$

در مباحث مکانیک سیالات مشاهده می‌شود که نتیجه بیلان مومنتم در معادله پروفیل سرعت در لوله‌ها ظاهر می‌شود:

$$u = 2u_m\left[1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2\right]$$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

اما معادله دیفرانسیل بیلان انرژی برای جریان درون لوله‌ها به شکل زیر است:

$$u\frac{\partial T}{\partial x}=\frac{\alpha}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial T}{\partial r}\right) \qquad (۱۳۱_۵)$$

$$2u_m\left(1-\left(\frac{r}{R}\right)^2\right)\frac{\partial T}{\partial x}=\frac{\alpha}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial T}{\partial r}\right) \qquad (۱۳۲_۵)$$

الف) حالت شار ثابت

در این حالت در شرایط توسعه یافتگی داریم:

$$\frac{\partial T}{\partial x}=\frac{\partial T_s}{\partial x}=\frac{\partial T_m}{\partial x}$$

پس به راحتی می‌توان از معادله بیلان انرژی (۵ـ۱۳۲) انتگرال‌گیری کرد:

$$T=T_s-\frac{2u_mR^2}{\alpha}\left(\frac{dT_m}{dx}\right)\left[\frac{3}{16}+\frac{1}{16}\left(\frac{r}{R}\right)^4-\frac{1}{4}\left(\frac{r}{R}\right)^2\right] \qquad (۱۳۳_۵)$$

$$T_m=\frac{2}{u_mR^2}\int_0^R u\,r\,T\,dr=T_s-\frac{11}{48}\left[\frac{u_mR^2}{\alpha}\right]\left[\frac{dT_m}{dx}\right] \qquad (۱۳۴_۵)$$

از جانشانی T و T_m در معادله مربوط به h (۵ـ۱۱۰) عدد Nu در حالت شار ثابت محاسبه می‌گردد:

$$h=\frac{48}{11}.\frac{k}{D} \quad\rightarrow\quad \frac{hD}{k}=Nu_D=\frac{48}{11}=4.364 \qquad (۱۳۵_۵)$$

ب) حالت دما ثابت

اما برای حالت دما ثابت با تکرار مراحل فوق Nu در حالت دما ثابت برابر 3.66 می‌گردد:

$$Nu_D=\frac{hD}{k}=3.66 \qquad (۱۳۶_۵)$$

به عبارتی عدد ناسلت برای جریان آرام توسعه یافته درون لوله‌ها مقداری ثابت است.

۵ـ۱۱ـ۵ اثرات ابتدایی و انتهایی در لوله‌ها

هم‌چنان‌که گفته شد در جریان درون لوله‌ها در ابتدای لوله جریان سیال توسعه نیافته است و لایه‌های مرزی هنوز به هم نرسیده‌اند. در ناحیه توسعه نیافته h روند نزولی دارد. برای نشان دادن اثرات ابتدایی و انتهایی درجریان درون لوله‌ها از عدد گراتس استفاده می‌شود:

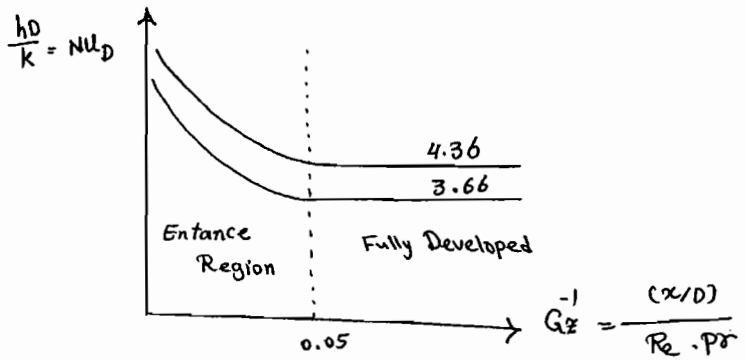
$$\text{عدد گراتس } Gz=\frac{Re.Pr}{(x/D)} \qquad (۱۳۷_۵)$$

$$\text{عدد گراتس معکوس } Gz^{-1}=\frac{(x/D)}{RePr} \qquad (۱۳۸_۵)$$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

در شکل زیر تغییرات عدد ناسلت بر حسب عدد گراتس معکوس نشان داده شده است:



شکل (۵ـ۱۰): تغییرات عدد ناسلت بر حسب عدد گراتس معکوس در ناحیه ابتدایی

هنگامی که جریان سیال توسعه یافته می‌شود عدد گراتس معکوس برابر 0.05 است:

$$\frac{x}{D}=0.05\,Re.Pr \quad \rightarrow \quad \frac{x/D}{Re.Pr}=Gz^{-1}=0.05 \qquad (۱۳۹_۵)$$

۵ـ۱۱ـ۶ جریان درهم درون لوله‌ها

جریان سیال درون لوله را زمانی در هم گویند که عدد رینولدز از 2300 فراتر رود. در این حالت عدد ناسلت از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$Nu=0.023\ Re^{0.8}\ Pr^{n} \qquad (۱۴۰_۵)$$

$n=0.4$ for Heating

$n=0.3$ for Cooling

سؤال: چرا آنالوژی رینولدز ـ کلبرن برای جریان آرام درون لوله‌ها صادق نیست؟

برای اثبات این امر از برهان خلف استفاده می‌شود یعنی در ابتدا فرض می‌شود که آنالوژی صادق باشد در این صورت:

$$St.Pr^{\frac{2}{3}}=\frac{C_f}{2}$$

$$\frac{Nu}{Re\cdot Pr}\cdot Pr^{\frac{2}{3}}=\frac{1}{2}\left(\frac{64}{Re}\right)$$

$$Nu=32\,Pr^{\frac{1}{3}}$$

در حالی‌که در جریان آرام درون لوله Nu یکی از دو مقدار 3.66 یا 4.36 را داراست و به عدد پرانتل بستگی ندارد. پس فرض باطل است و آنالوژی رینولدز ـ کلبرن برای جریان آرام درون لوله کاربرد ندارد.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۵ـ۱۲ تست‌های فصل پنجم

۱ ـ ضریب اصطکاک موضعی به هنگام حرکت سیال از روی یک صفحه افقی بـه صـورت آرام از رابطـه $\frac{f}{2}=0.332\,Re_x^{-\frac{1}{2}}$ تبعیـت می‌کند. اگر سیال به‌طور همزمان با صفحه انتقال حرارت انجام دهد، رابطه اعداد بدون بعد انتقال حرارت توسط کدام یک از روابط زیر تعیین می‌شود؟

۱) $Nu_{ave}=0.664\,Re^{-\frac{1}{2}}$

۲) $Nu_{ave}=0.664\,Re^{-\frac{1}{2}}\,Pr^{\frac{1}{3}}$

۳) $Nu_{ave}=0.664\,Re^{\frac{1}{2}}\,Pr^{\frac{1}{3}}$

۴) $Nu_{ave}=0.664\,Re^{\frac{1}{2}}\,Pr^{\frac{2}{3}}$

۲ ـ برای جریان آرام در روی صفحه صاف کدام رابطه تجربی می‌تواند صادق باشد؟

۱) $Nu_x=f(Pr,Re)$ ۲) $Pr=f(Re,Nu)$ ۳) $Re=f(Nu,Pr,Gr)$ ۴) $Gr=f(Pr,Re)$

۳ ـ در جریان کاملاً توسعه یافته آرام با خواص فیزیکی ثابت بین دو صفحه موازی بسیار بزرگ به دمای T_w در شرایطی کـه دمـای ورودی سیال T_∞ و سرعت اولیه آن U_∞ باشد:

۱) سرعت ثابت است و بستگی به مختصات ندارد.
۲) توزیع سرعت و دما در امتداد جریان تغییر نمی‌کنند.
۳) توزیع سرعت در امتداد جریان تغییر نمی‌کند.
۴) توزیع دما در امتداد جریان تغییر نمی‌کند.

۴ ـ آب در لوله‌ای با عدد رینولدز 15000 حرارت داده می‌شود. اگر دبی آب دو برابر شود، ضریب انتقال حرارت داخلی لوله در کـدام عدد ضرب می‌شود؟

۱) 0.5 ۲) 0.8 ۳) 1.74 ۴) 2

۵ ـ سیالی در لوله با شرایط متلاطم عبور می‌کند. دمای متوسط دیواره داخلی 50 درجه بیشتر از دمای سیال می‌باشد. چنان‌که زبری نسبی در این لوله، تغییر کند به‌طوری که افت فشار 1.5 برابر شود، میزان انتقال حرارت به چه صورت تغییر می‌کند؟

۱) به 1.5 تقسیم می‌شود. ۲) 1.5 برابر می‌شود. ۳) سه برابر می‌شود. ۴) ارتباطی با زبری ندارد.

۶ ـ ضخامت لایه مرزی حرارتی در شرایط یک جریان آرام به ترم‌های بدون بعد ..... بستگی دارد.

۱) Re ۲) Pr ۳) Gr , Pr ۴) Re , Pr

۷ ـ کدام یک از تعاریف زیر غلط است؟

۱) عدد رینولدز نسبت نیروی رانش جریان به نیروی بازدارنده حرکت است.
۲) عدد پرانتل نسبت انتقال حرارت به انتقال اندازه حرکت است.
۳) عدد ناسلت نسبت انتقال حرارت جابجایی به هدایت در سیال است.
۴) عدد بیوت نسبت انتقال حرارت جابجایی به هدایت در جسم است.

۸ ـ هر قدر ضخامت لایه مرزی حرارتی نازکتر باشد، آن‌گاه انتقال حرارت .....

۱) جابجایی سریع‌تر می‌شود. ۲) جابجایی کندتر می‌شود.
۳) هدایتی کندتر می‌شود. ۴) هدایتی سریع‌تر می‌شود.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۹ ـ برای صفحه‌ای مسطح در مجاورت جریان هوای سردتر، نسبت ضخامت لایه مرزی حرارتی به لایه مرزی هیدرودینامیکی با .....

۱) $Pr^{\frac{1}{3}}$ نسبت عکس دارد.
۲) $Pr^{\frac{1}{2}}$ نسبت عکس دارد.
۳) $Pr^{\frac{1}{3}}$ نسبت مستقیم دارد.
۴) $Pr^{\frac{1}{2}}$ نسبت مستقیم دارد.

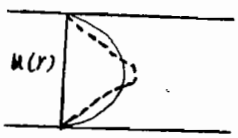
۱۰ ـ در لوله‌ای آب با $m=0.25\frac{kg}{sec}$, $T_{mi}=15^{\circ}C$ وارد می‌شود و با دمای $T_{mo}=57^{\circ}C$ خارج می‌شود. لوله در دمای ثابت دیواره $T_s=100^{\circ}C$ است. با قطر $D=50mm$ و طول $L=6m$ و $C_p=4178\frac{j}{kg^{\circ}C}$ آب، ضریب انتقال حرارت متوسط آب در طی لوله چند است؟

۱) $4.364\frac{W}{m^{2\circ}K}$
۲) $3.66\frac{W}{m^{2\circ}K}$
۳) $756\frac{W}{m^{2\circ}K}$
۴) $18\frac{W}{m^{2\circ}K}$

۱۱ ـ در لوله‌ای به قطر D و سرعت u سیالی جریان دارد. ضریب کنوکسیون $50\frac{W}{m^{2\circ}K}$ است. در صورتی‌که ضریب کنوکسیون از معادله مربوطه به جریان درهم محاسبه شود. ضریب کنوکسیون این سیال در لوله‌ای به قطر 2D و سرعت 2u در صورتی‌که سایر شرایط ثابت باشد چند $\frac{W}{m^{2\circ}K}$ است؟

۱) 50
۲) 75
۳) 100
۴) 200

۱۲ ـ در شکل روبرو منحنی ممتد مربوطه به پروفیل سرعت هم‌دما درون یک لوله است و منحنی خط‌چین برای حالت غیرهم‌دماست. در مورد منحنی خط‌چین می‌توان گفت:



۱) گرمایش گاز، گرمایش مایع
۲) گرمایش گاز، سرمایش مایع
۳) سرمایش گاز، گرمایش مایع
۴) سرمایش گاز، سرمایش مایع

۱۳ ـ در جریان یک فلز مایع درون یک لوله توزیع سرعت آن $u(r)=C_1$ و توزیع دمای آن $T(r)-T_s=C_2\left[1-\left(\frac{r}{R}\right)^2\right]$ است.

عدد Nu_D برای این سیستم چقدر است؟

۱) 4.364
۲) 3.66
۳) 6
۴) 8

۱۴ ـ رابطه انرژی در لایه مرزی آرام به صورت زیر ارائه شده است:

$$u\frac{\partial T}{\partial x}+v\frac{\partial T}{\partial y}=\frac{1}{\alpha}\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}+\frac{\mu}{\rho C_p}\left(\frac{\partial U}{\partial y}\right)^2$$

کدام یک از شرایط زیر در جریان هوا روی یک صفحه صحیح است؟

۱) $u\frac{\partial T}{\partial x}+v\frac{\partial T}{\partial y}=0$
۲) $\frac{\mu}{\rho C_p}\left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)^2+\frac{k}{\rho C_p}\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}=0$
۳) $\frac{\nu}{\alpha}<<\frac{C_p T}{u_\infty^2}$
۴) $\frac{\mu}{\rho C_p}\left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)^2=\frac{k}{\rho C_p}\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۱۵ ـ اگر افت فشار در لوله‌ای به واسطه تغییر زبری دو برابر شود انتقال حرارت:

۱) $\sqrt{\frac{3}{2}}$ برابر ۲) $\sqrt{2}$ ۳) نصف ۴) 2 برابر

۱۶ ـ اگر سیالی با $Pr>1$ وارد لوله‌ای شود در مورد $X_{fd,t}$ (طولی که پس از آن توسعه یافته حرارتی می‌شود) و $X_{fd,h}$ (طولی که پس از آن توسعه یافته هیدرودینامیکی می‌شود) می‌توان گفت:

۱) $X_{fd,t}<X_{fd,h}$ ۲) $X_{fd,t}>X_{fd,h}$

۳) $X_{fd,t}=X_{fd,h}$ ۴) با داشتن عدد رینولدز می‌توان قضاوت کرد.

۱۷ ـ کدام یک آنالوژی رینولدز ـ کلبرن است؟

۱) $Nu=0.53(Re.Pr)^{\frac{1}{2}}$ ۲) $C_f=2St.Pr^{\frac{2}{3}}$

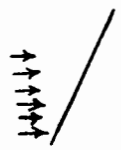
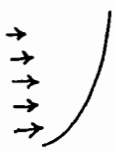
۳) $\frac{\delta_t}{\delta}=Pr^{\frac{1}{3}}\left\{1-\left(\frac{X_0}{X}\right)^{\frac{3}{4}}\right\}^{\frac{1}{3}}$ ۴) $Nu=0.35Pr^{\frac{1}{3}}.Re^{\frac{1}{2}}$

۱۸ ـ در تابستان وقتی شیر آب سرد را باز می‌کنیم آب گرم رفته رفته سرد می‌شود برای جلوگیری از اتلاف آب مصرفی و رسیدن به آب سرد موردنظر بهترین راه:

۱) شیر را کم باز کرده دبی خروجی را کم نگه می‌داریم. ۲) شیر را زیاد باز کرده دبی را زیاد می‌کنیم.

۳) شیر آب را متوسط باز می‌کنیم با دبی متوسط ۴) بستگی به دبی آب ندارد.

۱۹ ـ ضریب متوسط انتقال حرارت بین صفحه و سیال در کدام حالت بیشتر است؟

۱)  ۲)  ۳) ۴)

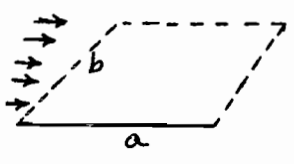
۲۰ ـ تغییرات دما در لایه مرزی به ضخامت δ و دمای دیواره T_w و دمای سیال T_∞ به صورت زیر داده شده است:

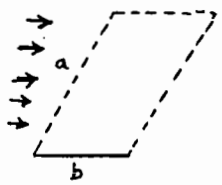
$$\frac{T-T_\infty}{T_w-T_\infty}=-\frac{3}{2}\left(\frac{y}{3}\right)+\frac{1}{2}\left(\frac{y}{3}\right)^3+1$$

در این صورت ضریب انتقال حرارت جابجایی سیال برابر است با:

۱) $\frac{1}{2}\left(\frac{k}{3}\right)$ ۲) $\frac{k}{2}$ ۳) $\frac{k}{3}$ ۴) $h\neq f(x)$

۲۱ ـ یک صفحه تخت مستطیلی به ابعاد a , b $(a>b)$ داریم در کدام یک از حالات زیر انتقال حرارت بیشتر است؟

۱) 

۲) 

۳) انتقال حرارت بستگی به نحوه قرار گرفتن صفحه ندارد.

۴) بسته به این‌که شار ثابت باشد یا دمای ثابت گاهی (۱) و گاهی (۲)

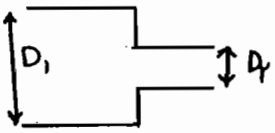
پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۲۲ ـ در معادله انرژی لایه مرزی آرام، در کدام یک از حالات زیر می‌توان از تلفات لزجتی در مقایسه با عبارت هدایتی صرف‌نظر کرد؟

۱) $Re.Pr<<1$ ۲) $Ec.Pr<<1$ ۳) $Ec=1$ ۴) $Nu=1$

۲۳ ـ در شکل مقابل با فرض درهم بودن جریان سیال نسبت $\frac{h_2}{h_1}$ برابر است با:



h_2: ضریب انتقال حرارت لوله به قطر D_2

h_1: ضریب انتقال حرارت لوله به قطر D_1

$D_1=3D_2$

۱) 2.41 ۲) 7.22 ۳) 1.73 ۴) 1.24

۲۴ ـ در تست فوق نسبت نرخ انتقال حرارت در ناحیه باقطر D_2 به نرخ انتقال حرارت در ناحیه با قطر D_1 با فرض $L_1=L_2$ برابر است با:

۱) 2.41 ۲) 7.22 ۳) 1.73 ۴) 1.24

۲۵ ـ توزیع درجه حرارت در یک سیم استوانه‌ای با ضریب هدایت k در جهت شعاعی در حالت یکنواخت از رابطه $T=T_0+A\left[1-\left(\frac{r}{R}\right)^2\right]$ پیروی می‌کند. چنان‌چه سیم با هوای اطراف که در دمای T_∞ قرار دارد تبادل حرارت کند. کدام یک از روابط زیر بیان کننده ضریب انتقال حرارت بین سیم و هوا خواهد بود؟ (R شعاع سیم A: عددی ثابت)

۱) $h=\frac{Ak}{R\left(T_0-T_\infty\right)}$ ۲) $h=\frac{2ARk}{T_0-T_\infty}$ ۳) $h=\frac{2Ak}{R\left(T_0-T_\infty\right)}$ ۴) $h=\frac{2Ak}{RT_\infty}$

۲۶ ـ در لوله‌ای به قطر 10cm آب با سرعت $2\frac{m}{min}$ و دمای اولیه $20^\circ C$ عبور می‌کند. سطح لوله‌ها هم‌دما و $100^\circ C$ می‌باشد. اگر لوله افقی باشد ناسلت برابر Nu_1 است. حال اگر لوله‌ها را به طور عمودی قرار دهیم به طوری که آب از پایین به بالا با همان شرایط حرکت کند ناسلت برابر Nu_2 می‌شود. مقدار $\frac{Nu_1}{Nu_2}$ برابر است با:

۱) 0 ۲) >1 ۳) <1 ۴) 2

۲۷ ـ آب با سرعت $0.2\frac{m}{sec}$ و دمای $20^\circ C$ و $k=0.65$ وارد لوله‌ای به قطر 1mm می‌شود. دمای دیواره لوله در $150^\circ C$ ثابت نگه داشته می‌شود. برای آن‌که دمای آب خروجی $80^\circ C$ باشد چه طولی از لوله موردنیاز است؟

۱) 20.9cm ۲) 2.09cm ۳) 5.4cm ۴) 16

۲۸ ـ برای جریان هوا در یک شرایط خاص روی یک صفحه توزیع دما در لایه مرزی عبارت است از:

$$\frac{T-T_w}{T_\infty-T_w}=1-\exp\left[-Pr.\frac{u_\infty y}{\nu}\right]$$

معادله مربوط به $Nu_x=\frac{hx}{k}$ برای این سیستم چگونه است؟

۱) $\frac{Pr.u_\infty x}{\nu}$ ۲) $\frac{Pr.Nu_\infty x}{\nu}$ ۳) عددی است ثابت ۴) هیچکدام

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۲۹ ـ اگر در مخزن آبی، سیم داغی قرار دهیم تا آب به جوش آید و h ضریب انتقال حرارت از سیم داغ به آب باشد، کدام گزینه درست است؟

۱) h با افزایش دما همواره افزایش می‌یابد.
۲) h با افزایش دما همواره کاهش می‌یابد.
۳) h با افزایش دما ممکن است کاهش یا افزایش یابد.
۴) h فقط به گرمای نهان تبخیر بستگی دارد.

۳۰ ـ برای کدام یک از موارد زیر ضریب انتقال حرارت جابجایی بزرگتری قابل انتظار است؟

۱) اجباری از روی صفحه دارای دما ثابت
۲) از صفحه تخت به سیال با اعمال فلاکس ثابت حرارتی از صفحه
۳) در جریان آشفته در لوله‌ها
۴) جوشش

۳۱ ـ بالاترین یا بیشترین ضریب جابجایی در میعان ..... می‌باشد.

۱) فیلمی بخار آب اشباع خالص
۲) فیلمی بخار آب اشباع همراه با ناخالص
۳) قطره‌ای بخار آب همراه با ناخالصی
۴) قطره‌ای بخار آب اشباع خالص

۳۲ ـ ضریب انتقال حرارت چگالش فیلمی نسبت به چگالش قطره‌ای چگونه مقایسه می‌گردد؟

۱) h قطره‌ای < h فیلمی
۲) h فیلمی < h قطره‌ای
۳) h قطره‌ای = h فیلمی
۴) بستگی به عدد ارشمیدس دارد.

۳۳ ـ یکی از فرضیات زیر در تئوری تقطیر ناسلت نادرست است؟

۱) انتقال حرارت در لایه منحصراً به وسیله هدایت انجام می‌شود.
۲) توزیع دمای سیال داخل لایه خطی است.
۳) با توجه به سرعت پایین جریان، شتاب وارده به لایه تقطیر ناچیز است.
۴) هیچ‌کدام

۳۴ ـ بالاترین ضریب انتقال حرارت وزشی (h) در حالت زیر به‌دست می‌آید:

۱) چگالش قطره‌ای
۲) چگالش فیلمی
۳) چگالش هسته‌ای
۴) جریان سیال درون لوله با سرعت مافوق صوت

۳۵ ـ برای جلوگیری از نابودی چگالش قطره‌ای از اکسید کدام ماده نمی‌توان بر روی سطح روکش داد؟

۱) طلا
۲) پلاتینیم
۳) رودیم
۴) استرانسیم

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۵ـ۱۳ پاسخ تست‌های فصل پنجم

۱ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

طبق آنالوژی رینولدز ـ کلبرن داریم:

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

$$\frac{Nu}{Re.Pr}.Pr^{\frac{2}{3}}=\frac{f}{2}$$

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

$$Nu_{ave}=2Nu_x=0.664\ Re^{\frac{1}{2}}\ Pr^{\frac{1}{3}}$$

۲ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

۳ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

شکل پروفیل سرعت تغییر نمی‌کند (توسعه‌یافتگی) و برای دما شکل بی‌بعد آن تغییر نمی‌کند. (توسعه یافتگی حرارتی)

۴ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

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

دبی دو برابر شود. $\rightarrow$ $Re_2=2Re_1$ $\rightarrow$ $Nu_2=2^{0.8}Nu_1$

$$Nu_2=1.74Nu_1$$

۵ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

طبق آنالوژی رینولدز ـ کلبرن ضریب انتقال حرارت با ضریب اصطکاک و افت فشار نسبت مستقیم دارد.

۶ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

ضخامت لایه مرزی سیالاتی تابع Re است. نسبت ضخامت لایه مرزی حرارتی به سیالاتی تابع عدد Pr است. پس خود ضخامت لایه مرزی حرارتی تابع Re و Pr است.

۷ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

۸ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$h\ \alpha\ \frac{1}{\delta_t}$ طبق معادله (۵ـ۵۲)

۹ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

۱۰ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

طبق معادله (۵ـ۱۲۶):

$$\frac{100-57}{100-15}=\exp-\left[\frac{h\times\pi\times0.05}{0.25\times4178}\times6\right]\ \rightarrow\ h=756\frac{W}{m^2.C}$$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۱۱ ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

طبق معادله (۵ـ۱۴۰):

$$h \alpha u^{0.8} D^{-0.2}$$

$$\frac{h_2}{h_1}=\left(\frac{u_2}{u_1}\right)^{0.8}\left(\frac{D_1}{D_2}\right)^{0.2} \quad \rightarrow \quad h_2=50\times(2)^{0.8}\times(0.5)^{0.2}=75$$

۱۲ ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

از مباحث مکانیک سیالات می‌دانیم که $u\alpha\frac{1}{\mu}$، پس می‌توان گفت در این حالت که نزدیک دیوار سرعت کم شده (خط‌چین) یعنی ویسکوزیته زیاد شده است. و از طرفی می‌دانیم که ویسکوزیته گازها با دما نسبت مستقیم دارد و ویسکوزیته مایعات با دما نسبت عکس دارد پس این افزایش ویسکوزیته می‌تواند ناشی از گرمایش گاز یا سرمایش مایع باشد.

۱۳ ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

از معادله (۵ـ۱۰۹) داریم:

$$T_m=\frac{2}{C_1R^2}\int_0^R C_1\left[T_s+C_2\left(1-\left(\frac{r}{R}\right)^2\right)\right]r\,dr=T_s+C_2-\frac{1}{2}C_2 \quad \rightarrow \quad T_s-T_m=-\frac{C_2}{2}$$

و از معادله (۵ـ۱۱۰) داریم:

$$h=\frac{-k\times C_2\times\left(\frac{2}{R}\right)}{-\frac{C_2}{2}} \quad \rightarrow \quad \frac{hR}{k}=4 \quad \rightarrow \quad \frac{hD}{k}=8$$

۱۴ ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

۱۵ ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

۱۶ ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

۱۷ ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

۱۸ ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

در لوله‌ها داریم: $Q \alpha u$ دبی

یعنی افزایش سرعت به نفع دبی است و انتقال حرارت کمتری صورت می‌گیرد. $h\alpha u^{0.8}$

۱۹ ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

چون در این حالت جدایی جریان اتفاق می‌افتد ترتیب h برای گزینه‌ها به صورت زیر است.

$$h_3>h_2>h_1>h_4$$

۲۰ ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

طبق معادله (۵ـ۳)

$$h=\frac{-k\left(T_w-T_\infty\right)\left[-\frac{3}{2}\times\frac{1}{3}\right]}{T_w-T_\infty}=\frac{k}{2}$$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۲۱ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

طبق معادله (۵ـ۵۵) می‌دانیم که $h \alpha \frac{1}{\sqrt{x}}$ پس بهتر است صفحه از عرض درمعرض جریان قرار گیرد.

۲۲ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

۲۳ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

طبق معادله (۵ـ۱۴۰):

$$\frac{h_2}{h_1}=\left(\frac{u_2}{u_1}\right)^{0.8}\left(\frac{D_2}{D_1}\right)^{-0.2}$$

از معادله پیوستگی داریم:

$$u_1 D_1^2=u_2 D_2^2$$

$$\frac{u_2}{u_1}=\left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2$$

$$\rightarrow \frac{h_2}{h_1}=\left(\frac{D_2}{D_1}\right)^{-1.6}\left(\frac{D_2}{D_1}\right)^{-1.8}=\left(\frac{1}{3}\right)^{-1.8} \rightarrow \frac{h_2}{h_1}=7.22$$

۲۴ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$\frac{Q_2}{Q_1}=\frac{h_2 A_2}{h_1 A_1}=\left(\frac{u_2}{u_1}\right)^{0.8}\left(\frac{D_2}{D_1}\right)^{-0.2}\left(\frac{D_2}{D_1}\right)$$

$$\frac{Q_2}{Q_1}=\left(\frac{D_2}{D_1}\right)^{-1.6}\left(\frac{D_2}{D_1}\right)^{0.8}=\left(\frac{D_2}{D_1}\right)^{-0.8}=\left(\frac{1}{3}\right)^{-0.8}=2.41$$

لازم به ذکر است که $A=\pi DL$ است.

۲۵ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

طبق معادله (۵ـ۳):

$$h=\frac{-kA\left(-\frac{2}{R}\right)}{T_0-T_\infty}=\frac{2Ak}{R\left(T_0-T_\infty\right)}$$

۲۶ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

در لوله قایم افت فشار بیشتر است و از طرفی طبق معادله (۵ـ۷۸) h متناسب با افت فشار است پس:

$$\left.\begin{matrix}\Delta P_2>\Delta P_1\\ Nu_2>Nu_1\end{matrix}\right\} \rightarrow \frac{Nu_1}{Nu_2}<1$$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۲۷ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

طبق معادله (۵ـ۱۲۹):

$$Ln\frac{150-80}{150-20}+\frac{h}{1000\times0.2\times4200}\times\frac{4L}{0.001}=0$$

از طرفی طبق معادله (۵ـ۱۳۶) داریم:

$$Nu=\frac{hD}{k}=3.66 \quad \rightarrow \quad \frac{h\times0.001}{0.65}=3.66 \quad \rightarrow \quad h=2379\frac{W}{m^2\,^\circ C}$$

پس داریم:

$$L=0.054 \quad m=5.4\,cm$$

۲۸ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$h=\frac{-k\left[\frac{Pr.u_\infty}{\nu}\right]\left(T_\infty-T_\omega\right)}{T_w-T_\infty}=\frac{k.Pr.u_\infty}{\nu}$$

$$Nu=\frac{hx}{k}=\frac{Pr.u_\infty}{\nu}.x$$

۲۹ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

با توجه به منحنی جوشش (در کتاب هولمن)

۳۰ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

۳۱ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

۳۲ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

۳۳ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

۳۴ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

۳۵ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

باید سطح با اکسید فلزات نجیب پوشش داده شود تا چگالش قطره‌ای نابود نشود.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

فصل ششم

جابجایی آزاد

۶ـ۱ مقدمه

سیالی را در نظر بگیرید که در مجاورت یک سطح گرم قرار گرفته باشد، در اثر تبادل حررات دمای سیال بالا می‌رود. ضریب انبساط (β) برای سیال مطابق معادله زیر تعریف می‌شود:

$$\beta = -\frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial \rho}{\partial T}\right)_P \qquad (۶ـ۱)$$

که ρ در معادله بالا دانسیته سیال است. حال اگر برای سیال $\beta \neq 0$ باشد در اثر بالا رفتن دما، دانسیته سیال کاهش می‌یابد و همین امر سبب اختلاف نیروی شناوری در لایه‌های مختلف سیال می‌شود و باعث حرکت سیال می‌شود:

$$\nabla T \xrightarrow{\beta \neq 0} \nabla \rho \xrightarrow{g \neq 0} \nabla \rho g \quad \rightarrow \quad \text{حرکت} \qquad (۶ـ۲)$$

یعنی در سیالات تراکم‌پذیر اختلاف دما سبب اختلاف دانسیته شده و در جایی که جاذبه وجود دارد موجب اختلاف نیروی شناوری گشته و باعث حرکت سیال می‌شود. برای گاز ایده‌آل مقدار β چنین محاسبه می‌شود:

$$PM = \rho RT \quad \rightarrow \quad \rho = \frac{PM}{RT} \qquad (۶ـ۳)$$

$$\beta = -\frac{RT}{PM}\left(-\frac{PM}{RT^2}\right) = \frac{1}{T} \qquad (۶ـ۴)$$

یعنی β برای گاز ایده‌آل برابر عکس دمای مطلق گاز است.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۶ـ۲ جابجایی آزاد در سطوح قائم

به عنوان مثال صفحه قائم زیر را در نظر بگیرید بیلان مومنتم و انرژی برای این صفحه به صورت زیر است:

$$u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}=-g-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x}+v\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \qquad (۵ـ۶)$$

$$u\frac{\partial T}{\partial x}+v\frac{\partial T}{\partial y}=\alpha\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \qquad (۶ـ۶)$$

شکل (۶ـ۱): جابجایی آزاد از روی سطوح قائم

در راستای y بیلان مومنتم با توجه به ناچیز بودن مؤلفه سرعت در این راستا $(v=0)$ به فرم زیر در می‌آید:

$$0=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial y} \quad \rightarrow \quad \frac{\partial P}{\partial y}=0 \quad \rightarrow \quad P=const \qquad (۷ـ۶)$$

یعنی P تابع y نیست. پس به عبارتی $\frac{\partial P}{\partial x}$ را در هر y ای می‌توان محاسبه کرد، از جمله در خارج لایه مرزی:

$$\frac{\partial P}{\partial x}=-\rho_\infty g \qquad (۸ـ۶)$$

ρ_∞= دانسیته سیال در دمای T_∞ است.

با جانشانی در معادله مومنتم معادله (۶ـ۹) حاصل می‌شود:

$$u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}=-g+\frac{\rho_\infty}{\rho}g+v\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \qquad (۹ـ۶)$$

تعریف β به صورت زیر است:

$$\beta=-\frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial \rho}{\partial T}\right)_P=-\frac{1}{\rho}\frac{\rho-\rho_\infty}{T-T_\infty} \qquad (۱۰ـ۶)$$

$$\frac{\rho_\infty-\rho}{\rho}=\beta\left(T-T_\infty\right) \qquad (۱۱ـ۶)$$

با قرار دادن رابطه فوق در معادله مومنتم معادله زیر حاصل می‌شود:

$$u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}=g\beta\left(T-T_\infty\right)+v\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \qquad (۱۲ـ۶)$$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

ملاحظه می‌شود که معادله مومنتم مستقل از معادله انرژی (پروفیل دما) نیست و باید این دو معادله به صورت توأم حل شوند. از بی بعدسازی معادلات مومنتم و انرژی روابط زیر به‌دست می‌آید:

$$\begin{cases} \bar{u}\dfrac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{x}}+\bar{v}\dfrac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{y}}=\dfrac{g\beta\left(T_w-T_\infty\right)L}{u^2}\bar{T}+\dfrac{1}{Re_L}\dfrac{\partial^2 \bar{u}}{\partial \bar{y}^2} & (۶_۱۳) \\ \bar{u}\dfrac{\partial \bar{T}}{\partial \bar{x}}+\bar{v}\dfrac{\partial \bar{T}}{\partial \bar{y}}=\dfrac{1}{RePr}\left(\dfrac{\partial^2 \bar{T}}{\partial \bar{y}^2}\right) & (۶_۱۴) \end{cases}$$

$$\frac{g\beta\left(T_w-T_\infty\right)L}{u^2}=\frac{g\beta\left(T_w-T_\infty\right)\frac{L^3}{\nu^2}}{\frac{u^2L^2}{\nu^2}}=\frac{Gr}{Re^2} \qquad (۶_۱۵)$$

$$Gr=\frac{g\beta\Delta TL^3}{\nu^2} \quad , \quad Re=\frac{uL}{\nu} \qquad (۶_۱۶)$$

عدد گراشف (Gr) نسبت نیروهای شناوری به نیروهای چسبندگی (ویسکوز) است. به عبارت دیگر:

$$\bar{u}\frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{x}}+\bar{v}\frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{y}}=\frac{Gr}{Re^2}.\bar{T}+\frac{1}{Re_L}\left(\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial \bar{y}^2}\right) \qquad (۶_۱۷)$$

یعنی معیار غالب بودن جابجایی آزاد یا اجباری $\frac{Gr}{Re^2}$ می‌باشد:

$\frac{Gr}{Re^2}>>1$ → جابجایی آزاد غالب است. (۶_۱۸)

$\frac{Gr}{Re^2}<<1$ → جابجایی اجباری غالب است. (۶_۱۹)

$\frac{Gr}{Re^2}=1$ → هر دو مکانیزم مؤثر است. (۶_۲۰)

عدد گراشف در جابجایی آزاد همان نقشی را عهده‌دار است که عدد رینولدز در جابجایی اجباری به عهده دارد. با توجه به معادلات بی‌بعد انرژی و مومنتم می‌توان فهمید که:

$Nu=f\left(Gr,Re,Pr\right)$ آزاد ـ اجباری توام (۶_۲۱)

$Nu=f\left(Re,Pr\right)$ اجباری (۶_۲۲)

$Nu=f\left(Gr,Pr\right)$ آزاد (۶_۲۳)

۶ـ۳ روش ون ـ کارمن برای حل معادلات مومنتم و انرژی در جریان آزاد

هم‌چنان‌که در جابجایی اجباری گفته شد روش انتگرالی ون ـ کارمن یک روش تقریبی است که در آن معادله انرژی مومنتم به شکل انتگرالی بیان می‌شود و پروفیل‌های سرعت و دما به صورت یک چند جمله حدس زده می‌شود:

$$\frac{u}{u_x}=a+by+cy^2+dy^3 \qquad (۶_۲۴)$$

$y=0 \qquad u=0$ (۶_۲۵)

$$y=0 \qquad \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}=-\frac{g\beta\left(T_w-T_\infty\right)}{\nu} \qquad (۶_۲۶)$$

$u=\delta \qquad u=0$ (۶_۲۷)

$$y=\delta \qquad \frac{\partial u}{\partial y}=0 \qquad (۶_۲۸)$$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

برای نشان دادن چگونگی به‌دست آمدن شرط دوم کافی است در معادله (۶ـ۱۲) مقادیر u و v را برابر صفر قرار داده و با توجه به شرایط فوق معادله را نوشت:

$$\frac{u}{u_x}=\frac{g\beta\delta^2\left(T_w-T_\infty\right)}{4u_x\nu}\frac{y}{\delta}\left(1-\frac{y}{\delta}\right)^2 \qquad (۶ـ۲۹)$$

u_x یک سرعت فرضی است اگر u_x به صورت زیر تعریف شود:

$$u_x=\frac{g\beta\delta^2\left(T_w-T_\infty\right)}{4\nu} \qquad (۶ـ۳۰)$$

$$\frac{u}{u_x}=\frac{y}{\delta}\left(1-\frac{y}{\delta}\right)^2 \qquad (۶ـ۳۱)$$

برای یافتن نقطه‌ای که در آن سرعت ماکزیمم است؛ از معادله سرعت مشتق گرفته، برابر صفر قرار داده می‌شود:

$$\frac{\partial u}{\partial y}=0 \quad \rightarrow \quad y_{max}=\frac{\delta}{3} \qquad (۶ـ۳۲)$$

۶ـ۳ـ۱ دمای ثابت در دیواره

پروفیل دمای حدس زده شده به همراه شرایط مرزی‌اش به فرم زیر است:

$$T=A+By+Cy^2 \qquad (۶ـ۳۳)$$

$$y=0 \qquad T=T_\omega \qquad (۶ـ۳۴)$$

$$y=\delta \qquad T=T_\infty \qquad (۶ـ۳۵)$$

$$y=\delta \qquad \frac{\partial T}{\partial y}=0 \qquad (۶ـ۳۶)$$

$$\frac{T-T_\infty}{T_w-T_\infty}=\left(1-\frac{y}{\delta}\right)^2 \qquad (۶ـ۳۷)$$

اینک کافی است معادلات توزیع سرعت و دما در معادله انتگرالی ون ـ کارمن قرار داده شود. در این صورت:

$$\frac{\delta}{x}=3.93\,Pr^{-\frac{1}{2}}\left(0.952+Pr\right)^{\frac{1}{4}}Gr_x^{-\frac{1}{4}} \qquad (۶ـ۳۸)$$

یعنی ضخامت لایه مرزی متناسب با $x^{\frac{1}{4}}$ افزایش می‌یابد.

$$h=\frac{-k\left.\frac{\partial T}{\partial y}\right|_{y=0}}{T_w-T_\infty} \qquad (۶ـ۳۹)$$

$$=\frac{-2k\left(T_w-T_\infty\right)\left(-\frac{1}{\delta}\right)\left(1-\frac{y}{\delta}\right)\Big|_{y=0}}{T_w-T_\infty} \qquad (۶ـ۴۰)$$

$$=\frac{2k}{\delta} \qquad (۶ـ۴۱)$$

$$h=0.508\quad Pr^{\frac{1}{2}}\left(0.952+Pr\right)^{-\frac{1}{4}}Gr_x^{\frac{1}{4}}\left(\frac{k}{x}\right) \qquad (۶ـ۴۲)$$

$$Nu_x=0.508\quad Pr^{\frac{1}{2}}\left(0.952+Pr\right)^{-\frac{1}{4}}Gr_x^{\frac{1}{4}}$$

$$\bar{h}=\frac{4}{3}h_{x=L} \qquad (۶ـ۴۳)$$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۶ـ۳ـ۲ شار حرارتی ثابت

در حالت شار حرارتی ثابت چون دمای دیواره متغیر است پس نمی‌توان گراشف را به درستی ارزیابی کرد، از این‌رو از عدد بی‌بعد دیگری بنام گراشف اصلاحی (Gr^*) استفاده می‌شود:

$$Gr^* = Gr.Nu \qquad (۴۴_۶)$$

$$Gr^* = \frac{g\beta(T_w - T_\infty)x^3}{\nu^2}.\frac{hx}{k} \qquad (۴۵_۶)$$

$$Gr^* = \frac{g\beta q'' x^4}{k\nu^2} \quad , \quad q'' = h(T_w - T_\infty) \qquad (۴۶_۶)$$

هر چند که h و T_w هر دو متغیر هستند اما حاصل‌ضرب $h(T_w - T_\infty)$ مقداری ثابت است. معادله ناسلت برای جریان آرام در اطراف صفحه قائم به شکل زیر است (در حالت شار ثابت):

$$Nu_x = a\, Gr^{*\frac{1}{5}}.Pr^n \qquad (۴۷_۶)$$

$$\bar{h} = \frac{5}{4}h_{x=L} \qquad (۴۸_۶)$$

در حالت شار ثابت اختلاف دمای صفحه و سیال $(T_w - T_\infty)$ در طول صفحه افزایش می‌یابد.

۶ـ۴ جریان درهم اطراف صفحات قائم

معیار درهم شدن جریان سیال در جابجایی آزاد از یک صفحه قائم به صورت زیر است:

$$Ra = Gr.Pr > 10^9 \qquad (۴۹_۶)$$

در این حالت روابط مربوط به ناسلت در حالت‌های دمای ثابت و شار ثابت به فرم زیر است:

$$Nu_x = a\, Gr^{\frac{1}{3}} Pr^n \qquad T_w = cte \qquad (۵۰_۶)$$

$$Nu_x = a'\, Gr^{*\frac{1}{4}} Pr^m \qquad q'' = cte \qquad (۵۱_۶)$$

ملاحظه می‌شود که در جریان درهم در جابجایی آزاد از صفحات قائم h مستقل از x است:

$$\bar{h} = h_{x=L} \qquad (۵۲_۶)$$

سؤال: رابطه میان ضخامت لایه مرزی حرارتی (δ_t) و سیالاتی (δ) در جابجایی آزاد چیست؟

از آن‌جا که عامل ایجاد حرکت در جابجایی آزاد وجود گرادیان دما در سیال است پس تا هر جا که گرادیان دما وجود دارد (لایه مرزی حرارتی) گرادیان سرعت (لایه مرزی سیالاتی) نیز هست. پس در جابجایی آزاد صرف‌نظر از این‌که عدد Pr کوچکتر بزرگتر یا مساوی یک باشد:

$$\delta_t = \delta \quad \text{(همواره و مستقل از Pr)} \qquad (۵۳_۶)$$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۶ـ۵ جابجایی آزاد در اطراف کره‌ها

کره‌ای به قطر D و دمای T_w را در نظر بگیرید که درون یک سیال ساکن به دمای T_∞ قرار دارد مکانیزم انتقال حرارت تا زمانی که سیال ساکن است صرفاً هدایتی است.

$$q=-k\left(4\pi r^2\right)\frac{\partial T}{\partial r} \qquad (۶ـ۵۴)$$

$$=(-4k\pi)\frac{\int_{T_w}^{T_\infty} dT}{\int_R^\infty \frac{dr}{r^2}}=4k\pi R\left(T_w-T_\infty\right) \qquad (۶ـ۵۵)$$

$$=\frac{k}{R}\left(4\pi R^2\right)\Delta T=h\ A\ \Delta T \qquad (۶ـ۵۶)$$

در نتیجه

$$h=\frac{k}{R} \quad \rightarrow \quad \frac{hD}{k}=Nu_o=2 \qquad (۶ـ۵۷)$$

یعنی عدد ناسلت برای انتقال حرارت بین یک کره سیال ساکن در اطراف آن برابر دو است. حال اگر اختلاف دما به قدری زیاد شود که سبب حرکت سیال در اطراف کره شود (جابجایی آزاد) معادلات مربوط به ناسلت به شکل زیر خواهند بود:

$$Nu=2+a\ Ra^m \qquad (۶ـ۵۸)$$

$$Ra=Gr.Pr \qquad (۶ـ۵۹)$$

۶ـ۶ جابجایی آزاد از سطوح مایل

اگر یک صفحه‌ای با زاویه θ نسبت به راستای افق قرار گرفته باشد کافی است در معادلات مربوط به صفحه قائم g به $g\sin\theta$ تبدیل شود:

$$Gr=\frac{g\sin\theta\beta\left(T_w-T_\infty\right)x^3}{\nu^2} \qquad (۶ـ۶۰)$$

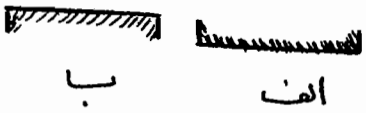
و از آن‌جا که $0\le\sin\theta\le1$ می‌باشد پس همواره جابجایی آزاد صفحات قائم از صفحات مایل بیشتر است.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۶ـ۷ تست‌های فصل ششم

۱ ـ دوناودانی مشابه فلزی که از داخل عایق شده‌اند در دمای $100^{\circ}C$ قرار دارند این دو از همه طرف در معرض هوای ساکن هستند. در کدام حالت ناودانی زوتر سرد می‌شود؟



۱) الف
۲) ب
۳) هم‌زمان سرد می‌شوند.
۴) اطلاعات مسئله کافی نیست.

۲ ـ یک لوله افقی به دمای T_w با هوای محیط به دمای T_∞ به صورت طبیعی تبادل حرارت می‌نماید. اگر ΔT بین جداره لوله و محیط ثابت بماند ولی دمای جداره افزایش یابد، ضریب انتقال حرارت به چه شکلی تغییر می‌کند؟

۱) تغییر نمی‌کند.
۲) کاهش می‌یابد.
۳) افزایش می‌یابد.
۴) بستگی به قطر لوله دارد و بر حسب مورد تابع یکی از حالت‌های بالاست.

۳ ـ یک گلوله فلزی به قطر $10cm$ و دمای $80^{\circ}C$ در یک سیال بدون حرکت با ضریب انبساط ناچیز قرار گرفته است. اگر ضریب هدایتی سیال $k=10\frac{W}{m^{\circ}C}$ و دمای آن $20^{\circ}C$ و معادله $Nu=2.0+0.392\,Gr^{0.25}$ صادق باشد شار حرارتی از این کره برابر است:

۱) $18000\,W$
۲) $12000\,W$
۳) $6000\,W$
۴) $3000W$

۴ ـ در هوای آرام و صاف ضریب انتقال حرارت بین زمین و هوای مجاور آن به چه صورت تغییر می‌کند؟

۱) با طلوع خورشید در طول روز زیادتر از شب است.
۲) با طلوع خورشید در طول روز کمتر از شب است.
۳) بستگی به ضریب گسیل سطح زمین ممکن است در شب زیادتر با کمتر باشد.
۴) به شب یا روز ارتباطی ندارد.

۵ ـ در جریان جابجایی آزاد از روی یک صفحه عمودی، ضخامت لایه مرزی حرارتی نسبت به لایه مرزی سیالاتی چگونه است؟

۱) بزرگتر
۲) مساوی
۳) کوچکتر
۴) می‌تواند هم بزرگتر و هم کوچکتر باشد.

۶ ـ کدام عدد بدون بعد در جابجایی طبیعی معادل Re در جابجایی اجباری است؟

۱) Gr
۲) Gz
۳) Ra
۴) Pe

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۷ـ در یک گاز در جابجایی آزاد کدام گزینه صحیح است؟

۱) $Nu=f(Re,Gr)$ ۲) $Nu=f(Re,Gr,Pr)$ ۳) $Nu=f(Gr)$ ۴) $Nu=f(Gr,Pr)$

۸ـ کدام معادله برای جابجایی آزاد روی یک کره صحیح است؟

۱) $Nu_m=2+0.43Ra_D^{\frac{1}{4}}$ ۲) $Nu_m=0.43Ra_D^{\frac{1}{3}}$ ۳) $Nu_m=4.36Ra_D^{\frac{1}{4}}$ ۴) $Nu_m=2Ra_D^{\frac{1}{4}}$

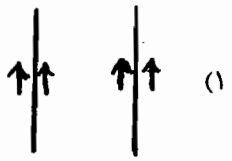
۹ـ کدام یک نمایانگر عدد گراشف اصلاحی است؟

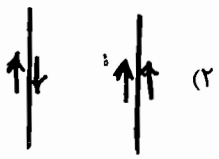
۱) $Gr.Re$ ۲) $Re.Nu$ ۳) $Gz.Nu$ ۴) $Gr.Nu$

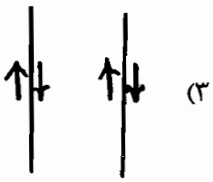
۱۰ـ در لایه مرزی جابجایی آزاد نقطه ماکزیمم سرعت در مقطع:

۱) $y=\delta$ ۲) $y=\frac{\delta}{2}$ ۳) $y=\frac{\delta}{3}$ ۴) هیچ‌کدام

۱۱ـ جریان در یک پنجره دو لایه مطابق کدام شکل است؟

۱) 

۲) 

۳) 

۴) هیچ‌کدام

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۶ـ۸ پاسخ تست‌های فصل ششم

۱ ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

در حالت (الف) هوای گرم بالای هوای سرد قرار گرفته در نتیجه هیچ حرکتی نداریم (هدایتی) ولی در حالت (ب) هوای سرد بالای هوای گرم قرار گرفته در نتیجه جابجایی جریان هوا اتفاق می‌افتد (جابجایی) پس ضریب انتقال حرارت در حالت (ب) بیشتر از حالت (الف) است.

۲ ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

طبق معادله (۶ـ۱۰) برای گازها (مثلاً گاز ایده‌آل) داریم: $\beta=-\frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial\rho}{\partial T}\right)_p=\frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p$

$V=\frac{RT}{P}\quad(\text{Ideal gas})$

(β برابر عکس دمای مطلق گاز است) $\beta=\frac{1}{T}$

از آن‌جا که در صورت سؤال گفته شده ΔT ثابت است پس افزایش T_w مستلزم افزایش T_∞ است. در نتیجه در معادله (۶ـ۱۶) ملاحظه می‌شود ΔT ثابت مانده ولی $\beta=\frac{1}{T}$ کاهش یافته است. به عبارتی عدد گراشف Gr کاهش یافته و این به معنای کاهش h است.

۳ ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

در صورت مسئله از شار سؤال شده درحالی‌که گزینه‌ها بر حسب وات است. (نرخ انتقال حرارت) $Q=h\Delta T$

چون ضریب انبساط ناچیز است $(\beta=0)$ در نتیجه عدد گراشف (Gr) برابر صفر است.

$$Nu=\frac{hD}{K}=2\quad\rightarrow\quad h=\frac{2k}{D}$$

$$Q=\left(\frac{2k}{D}\right)\left(T_w-T_\infty\right)=\left(\frac{2\times10}{0.1}\right)(80-20)=12000\frac{W}{m^2}$$

۴ ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

در روز در اثر تابش خورشید زمین گرم می‌شود و این سطح گرم در معرض هوای سرد قرار می گیرد و چون هوای سرد بالای هوای گرم مجاور سطح زمین است پس جابجایی سیال گرم و سرد صورت می‌گیرد و در نتیجه ضریب انتقال حرارت در روز نسبت به شب افزایش می‌یابد.

۵ ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

چون تا جایی‌که گرادیان دما داریم اختلاف دانسیته و در نتیجه حرکت وجود دارد. چون عامل محرک در جابجایی آزاد انبساط لایه‌های سیال در اثر اختلاف دماست. پس در جابجایی آزاد مستقل از عدد پرانتل (Pr) است. $\delta_t=\delta$

۶ ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

۷ ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

طبق معادله (۶ـ۲۳) $Nu=f(Gr,Pr)$

اما برای گازها $(Pr=1)$ است پس: $Nu=f(Gr)$

۸ ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

۹ ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

۱۰ ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

۱۱ ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

فصل هفتم

تابش حرارتی

۷ـ۱ مقدمه

تابش سومین مکانیزم انتقال حرارت است که در این روش، انرژی توسط تابش امواج الکترومغناطیسی که با سرعت نور سیر می‌کنند منتقل می‌گردد. این مکانیزم انتقال هیچ نیازی به محیط مادی ندارد.

$$C=\lambda \nu \qquad (۱_۷)$$

C=سرعت $\quad \lambda$= طول موج $\quad \nu$=فرکانس

طبق تئوری گاز ـ فوتون و ترمودینامیک آماری چگالی انرژی به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$u_\lambda=\frac{8\pi h\lambda^{-5}}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}}-1} \qquad \left(\frac{J}{m^3.m}\right) \qquad (۲_۷)$$

h= ثابت پلانک $\left(6.62\times10^{-24}\,J.S\right)$

k = ثابت بولتزمن $\left(1.38\times10^{-23}\,\frac{J}{mol^{\circ}k}\right)$

u_λ= چگالی انرژی (انرژی به ازای واحد حجم، واحد طول موج)

۷ـ۲ توان گسیل جسم سیاه به ازای واحد طول موج

طبق معادله پلانک توان گسیل به صورت زیر بیان می‌گردد:

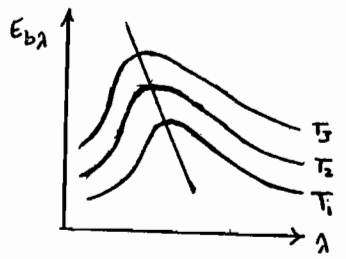
$$E_{b\lambda}=\frac{u_\lambda C}{4} \qquad (۳_۷)$$

$$=\frac{C_1\lambda^{-5}}{\left[e^{C_2/\lambda T}-1\right]} \qquad (۴_۷)$$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

C_2, C_1 دو عدد ثابت هستند. نمودار توان گسیل شده بر حسب طول موج در دماهای متفاوت به صورت زیر می‌باشد. هم‌چنان‌که از روی نمودار مشاهده می‌شود در هر دمایی یک طول موج خاصی وجود دارد که در آن طول موج ماکزیمم تابش گسیل می‌شود.



شکل (۷ـ۱): توان گسیل جسم سیاه در دماها و طول موج‌های مختلف

قانون وین:

هر چه دمای جسم بالا رود طول موجی که در آن ماکزیمم تابش اتفاق می‌افتد کاهش می‌یابد. قانون وین مطابق معادله زیر تعریف می‌شود:

$$\lambda_{max}.T=2897.6 \quad \mu.^\circ K \qquad (۵ـ۷)$$

قانون استفان بولتزمن:

حال اگر از معادله (۷ـ۴) روی تمام طول موج‌ها انتگرال گرفته شود توان گسیل شده جسم سیاه در یک دمای خاص به‌دست می‌آید:

$$E_b=\int_0^\infty E_{b\lambda}\,d\lambda=\int_0^\infty \frac{C_1\lambda^{-5}}{e^{\frac{C_2}{\lambda T}}-1}d\lambda \qquad (۶ـ۷)$$

$$E_b=\sigma T^4 \qquad (۷ـ۷)$$

که در معادله فوق:

E_b= توان گسیل جسم سیاه $\left(\frac{w}{m^2}\right)$ $\qquad$ T = دمای مطلق جسم $\left(^\circ K\right)$

σ= ثابت استفان ـ بولتزمن $\left(5.66\times10^{-8}\frac{w}{m^2\,^\circ K^4}\right)$

معادله (۷ـ۷) همان قانون استفان بولتزمن است که بیان می‌کند: «توان گسیل جسم سیاه متناسب با توان چهارم دمای مطلق آن است».

۷ـ۳ ضریب گسیل (ε) *(Emissivity)*

نسبت توان تابشی یک جسم به توان تابشی جسم سیاه را ضریب گسیل گویند:

$$\varepsilon=\frac{E}{E_b} \qquad (۸ـ۷)$$

E= توان گسیل جسم غیرسیاه $\qquad$ E_b= توان گسیل جسم سیاه

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

محدوده تغییرات ε از صفر (سطوح آینه‌ای و براق) تا یک (سطوح سیاه) تغییر می‌کند. ضریب گسیل تابعی از T,λ و کیفیت سطح می‌باشد.

$\varepsilon=f(\lambda,T,$ کیفیت سطح$)$

$T\uparrow \rightarrow \varepsilon\uparrow$

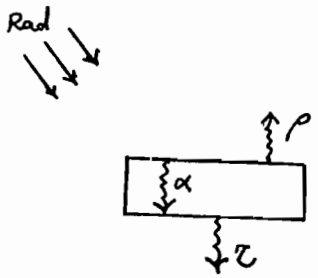
سطح تاریک‌تر $\rightarrow \varepsilon\uparrow$

سطح براق‌تر $\rightarrow \varepsilon\downarrow$

به منظور عایق‌کاری بهتر است از اجسام براق‌تر که دارای ε کمتری هستند استفاده نمود.

اجسام خاکستری: جسم خاکستری جسمی است که ε آن مستقل از طول موج (λ) است.

۷ـ۴ رفتار یک جسم در مقابل تابش:



شکل (۷ـ۲): رفتار جسم در مقابل تابش دریافتی

یک جسم در مقابل دریافت انرژی تابشی سه نوع رفتار را از خود نشان می‌دهد:

۱ـ درصدی از تابش دریافتی را جذب می‌کند (α)

۲ـ درصدی از تابش دریافتی را عبور می‌دهد. (τ)

۳ـ درصدی از تابش دریافتی را منعکس می‌کند. (ρ)

به طوری که مجموع تمام مقادیر فوق از رابطه زیر تبعیت می‌کند:

$$\alpha+\rho+\tau=1 \qquad (۹ـ۷)$$

قانون کیرشهف بیان می‌دارد: که برای کلیه اجسام $\alpha=\varepsilon$ است.

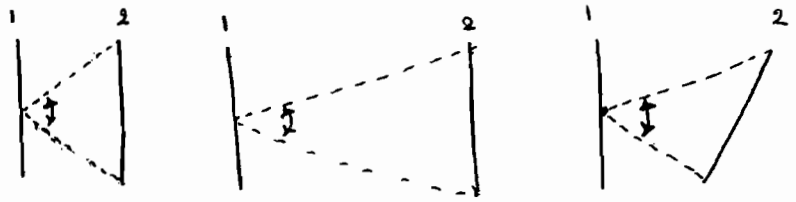
۷ـ۵ ضریب شکلی

ضریب شکلی عبارت است از کسری از انرژی تابشی که سطح i را ترک کرده و روی سطح j می‌نشیند. این ضریب فقط تعیین‌کننده وضعیت هندسی شکل است و با F_{ij} نشان داده می‌شود.

مثال ۱: دو صفحه در اختیار داریم بستگی به وضعیت قرارگیری این دو صفحه نسبت به هم میزان انرژی تابشی که از یکی خارج می‌شود و بر روی سطح دیگری می‌رسد متفاوت است.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497



شکل (۷ـ۳): حالات مختلف قرار گیری سطوح در فضا و اثر آن بر تابش

در سه حالت نشان داده شده در شکل (۷ـ۳) ابعاد و دمای صفحات ثابت است ولی چون وضعیت قرارگیری آنها در فضا متفاوت است پس میزان انرژی تابشی که بین این دو مبادله می‌شود متفاوت است. این تفاوت در ضریبی به نام F_{12} اعمال می‌شود.

ـ روابط بین ضرایب شکلی

فرض کنید جسمی دارای n تا سطح است. هر سطح آن با خود (بسته به تقعر یا تحدب سطح) و $n-1$ سطح دیگر تبادل انرژی به طریق تابشی می‌نماید، که ضرایب شکلی دو به دوی این صفحات به فرم زیر است:

$$\begin{matrix} F_{11} & F_{12} & \cdots & F_{1n} \\ F_{21} & F_{22} & \cdots & F_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \\ F_{n1} & F_{n2} & \cdots & F_{nn} \end{matrix} \qquad (۱۰ـ۷)$$

پس برای این سیستم کل ضرایب شکلی n^2 تاست. پس عدهٔ مجهولات برابر است با:

$$\text{عده مجهولات} = n^2 \qquad (۱۱ـ۷)$$

کافی است روابطی که بین ضرایب شکلی برقرار است را نوشته تا مجهولاتِ فوق محاسبه شوند. اولین رابطه‌ای که بین ضرایب شکلی برقرار است این است که مجموع ضرایب شکلی برای هر سطح مساوی یک است:

$$\sum_{j=1}^{n} F_{ij} = 1 \qquad (۱۲ـ۷)$$

معادله فوق را برای هر یک از n سطح جسم می‌توان نوشت:

$$\begin{cases} F_{11}+F_{12}+....+F_{1n}=1 \\ F_{21}+F_{22}+....+F_{2n}=1 \\ \vdots \\ F_{n1}+F_{n2}+.....+F_{nn}=1 \end{cases} \qquad (۱۳ـ۷)$$

دومین معادله‌ای که بین ضرایب شکلی برقرار است، رابطه تقابل است که به صورت زیر بیان می‌شود:

$$A_i F_{ij} = A_j F_{ji} \qquad (۱۴ـ۷)$$

تعداد کل روابط تقابلی که بین دو به دوی سطوح می‌توان نوشت برابر است با:

$$\text{عده روابط تقابل} = \binom{n}{2} = \frac{n!}{2!(n-2)!} = \frac{n(n-1)}{2} \qquad (۱۵ـ۷)$$

پس با توجه به معادلات (۷ـ۱۳) و (۷ـ۱۴) عده کل روابطی که بین ضرایب شکلی می‌توان نوشت برابر است با:

$$\text{عده کل روابط} = n + \frac{n(n-1)}{2} = \frac{n(n+1)}{2} \qquad (۱۶ـ۷)$$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

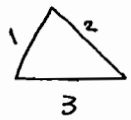
پس درجه آزادی این سیستم (f) برابر است با:

عده روابط − عده مجهولات = f (۱۷_۷)

$$f=n^2-\frac{n(n+1)}{2}=\frac{n(n-1)}{2} \quad (۱۸_۷)$$

یعنی باید $\frac{n(n-1)}{2}$ از مجهولات به طریقی غیر از حل دستگاه معادلات (۷_۱۳) و (۷_۱۴) به‌دست می‌آیند.

مثال ۲: کوره مثلثی مطابق شکل زیر داریم که هر سه سطح آن تخت است ضرایب شکلی کلیه سطوح را نسبت به هم محاسبه کنید.



شکل (۷_۱۴): کوره با مقطع مثلثی

حل :

طبق معادله (۷_۱۱) عده ضرایب شکلی $\left(3^2=9\right)$ تاست. و عده کل معادلات طبق معادله (۷_۱۶) عبارتند از:

$$\text{عده کل روابط}=\frac{3(3+1)}{2}=6$$

معادلات مذکور عبارتند از:

$$\begin{cases} F_{11}+F_{12}+F_{13}=1 \\ F_{21}+F_{22}+F_{23}=1 \\ F_{31}+F_{32}+F_{33}=1 \\ A_1F_{12}=A_2F_{21} \\ A_1F_{13}=A_3F_{31} \\ A_2F_{23}=A_3F_{32} \end{cases} \quad (۱۹_۷)$$

ملاحظه می‌شود که برای 9 مجهول این مسئله فقط 6 معادله وجود دارد پس سه تا از ضرایب شکلی را باید به طریقی غیر از دستگاه معادلات فوق محاسبه کرد اما از آن‌جا که هر سه سطح کوره تخت هستند پس:

$$F_{11}=F_{22}=F_{33}=0 \quad (۲۰_۷)$$

چرا که برای سطوح تخت و کوژ داریم:

$$F_{ii}=0 \quad (۲۱_۷)$$

یعنی سطوح تخت و کوژ خود را نمی‌بینند اما در سطوح کاو سطوح خود را می‌بینند.

$$F_{ii}\neq 0 \quad (۲۲_۷)$$

شکل (۷_۵): سطوح تخت، کوژ و کاو

پس اکنون با توجه به معادلات (۷_۲۰) و (۷_۱۹) می‌توان 6 مجهول باقیمانده را نیز محاسبه کرد.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

مثال ۳: دو کره متداخل را مطابق شکل زیر در نظر بگیرید ضرایب شکلی را برای این سیستم بنویسید.

شکل (۷ـ۶): دو کره متداخل

حل : طبق معادلات (۷ـ۱۳) و (۷ـ۱۴) می‌توان نوشت:

$$F_{11}+F_{12}=1$$

$$F_{21}+F_{22}=1$$

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

از طرفی با توجه به معادله (۷ـ۲۱) برای سطح کوژ 1:

$$F_{11}=0$$

در نتیجه دستگاه معادلات فوق به راحتی قابل حل است:

$$F_{12}=1$$

$$F_{21}=\frac{A_1}{A_2}=\left(\frac{r}{R}\right)^2$$

$$F_{22}=1-\left(\frac{r}{R}\right)^2$$

مثال ۴: برای دو استوانه متداخل و طولانی محاسبات فوق را تکرار کنید.

حل :

مشابه مثال قبل داریم:

$$F_{11}=0 \quad , \quad F_{12}=1$$

$$F_{21}=\left(\frac{r}{R}\right) \quad , \quad F_{22}=1-\left(\frac{r}{R}\right)$$

۷ـ۶ تبادل حرارت بین اجسام غیرسیاه

اصولاً اگر تبادل حرارت تابشی بین دو جسم در نظر گرفته شود، دو مقاومت اصلی بر سر راه این تبادل وجود دارد:

۱ـ مقاومت فضایی: که ناشی از وضعیت هندسی قرار گرفتن صفحات نسبت به هم است.

۲ـ مقاومت سطحی: که ناشی از غیر سیاه بودن سطح است.

درمورد مقاومت اول (فضایی) می‌توان به این نتیجه رسید که اگر دو جسم سیاه در فضا طوری قرار گیرند که ضریب شکلی آنها نسبت به هم (F_{12})باشد میزان تبادل حرارت بین آن دو عبارت است از:

$$Q=\sigma A F_{12}\left(T_1^4-T_2^4\right) \qquad (۷ـ۲۳)$$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

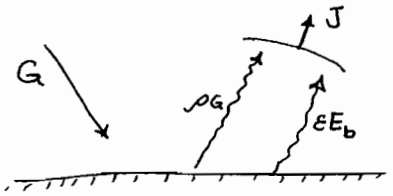
پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

و مقاومت فضایی برابر است با:

$$\text{مقاومت فضایی} = \frac{1}{A_1 F_{12}} \qquad (۲۴_۷)$$

حال اگر دو سطح فوق (هر دو یا فقط یکی) غیرسیاه باشند چه اتفاقی می‌افتد؟

مطابق شکل (۷ـ۷) یک سطح غیرسیاه را در نظر بگیرید که عبور تابش از آن ناچیز است (کدر).



شکل (۷ـ۷): تابش حرارتی از سطوح غیرسیاه

ابتدا لازم است دو اصطلاح مورد استفاده در این بحث تعریف شود.

الف) تابش دهی (G)

تابش دهی عبارت است از کل تابش ورودی به سطح در واحد زمان واحد سطح.

ب) رادیو سیتی (J)

رادیوسیتی عبارت است از کل تابشی که سطح را در واحد زمان و واحد سطح ترک می‌کند.

رادیو سیتی شامل دو مؤلفه اصلی می‌باشد:

۱ـ انعکاس انرژی تابشی فرود آمده بر سطح (ρG)

۲ـ انرژی تابشی گسیل شده از سطح جسم (εE_b)

فرض می‌شود که J و G در سرتاسر جسم یکسان هستند پس با بیلان انرژی کل انرژی خالصی که سطح را ترک می‌کند قابل محاسبه است:

$$\frac{Q}{A} = J - G \qquad (۲۵_۷)$$

$$J = \rho G + \varepsilon E_b \qquad (۲۶_۷)$$

چون سطح کدر است $(\tau = 0)$ پس می‌توان گفت:

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \qquad (۲۷_۷)$$

$$\alpha + \rho = 1 \qquad (۲۸_۷)$$

$$\rho = 1 - \alpha \qquad (۲۹_۷)$$

اگر فرض شود قانون کیرشهف تقریباً صادق است $(\varepsilon = \alpha)$:

$$\rho = 1 - \varepsilon \qquad (۳۰_۷)$$

از معادله (۷ـ۲۶) و (۷ـ۳۰) مقدار J به صورت زیر به‌دست می‌آید.

$$J = (1-\varepsilon)G + \varepsilon E_b \qquad (۳۱_۷)$$

$$G = \frac{J - \varepsilon E_b}{1-\varepsilon} \qquad (۳۲_۷)$$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

با جانشانی (۷ـ۳۲) در معادله (۷ـ۲۵) مقدار کل انرژی Q به‌دست می‌آید:

$$\frac{Q}{A}=J-\frac{J-\varepsilon E_b}{1-\varepsilon} \qquad (۳۳_۷)$$

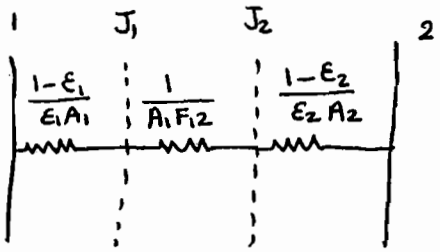
$$\frac{Q}{A}=\frac{E_b-J}{\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}} \qquad (۳۴_۷)$$

$$Q=\frac{E_b-J}{\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon A}} \qquad (۳۵_۷)$$

عبارت $\left(\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon A}\right)$ در مخرج معادله فوق را مقاومت سطحی گویند؛ که اگر جسم سیاه $(\varepsilon=1)$ باشد مقدار آن صفر است و اگر سطح براق باشد $(\varepsilon\to 0)$ مقدار آن به سمت بی‌نهایت میل می‌کند. به همین دلیل است که در مبحث تابش برای کاهش انتقال حرارت به طریقه تابش سطوح رابراق می‌سازند.

مثال ۵: تبادل حرارت بین دو جسم غیرسیاه با ضرایب گسیل ε_1 و ε_2 و ضریب شکلی F_{12} را محاسبه کنید.

حل : در شکل زیر مقاومت‌های مؤثر نشان‌داده شده‌اند.



شکل (۷ـ۸): مقاومت‌های فضایی و سطحی در تابش بین دو سطح غیر سیاه

$$Q=\frac{E_{b_1}-J_1}{\frac{1-\varepsilon_1}{\varepsilon_1 A_1}}=\frac{J_1-J_2}{\frac{1}{A_1F_{12}}}=\frac{J_2-E_{b_2}}{\frac{1-\varepsilon_2}{\varepsilon_2 A_2}} \qquad (۳۶_۷)$$

با توجه به مباحث مطرح شده در فصل دوم در مورد مقاومت‌های سری معادله Q به صورت زیر قابل نوشتن است:

$$Q=\frac{E_{b_1}-E_{b_2}}{\frac{1-\varepsilon_1}{\varepsilon_1 A_1}+\frac{1}{A_1F_{12}}+\frac{1-\varepsilon_2}{\varepsilon_2 A_2}} \qquad (۳۷_۷)$$

$$Q=\frac{\sigma\left(T_1^4-T_2^4\right)}{\frac{1-\varepsilon_1}{\varepsilon_1 A_1}+\frac{1}{A_1F_{12}}+\frac{1-\varepsilon_2}{\varepsilon_2 A_2}} \qquad (۳۸_۷)$$

معادله (۷ـ۳۸) کامل‌ترین معادله برای محاسبه تبادل حرارتی به طریقه تابشی بین دو سطح است.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

حالات خاص معادله (۷ـ۳۸):

الف) اگر دو سطح مساوی باشند و $F_{12}=1$ و هر دو سطح هم سیاه باشند یعنی نه مقاومت فضایی و نه مقاومت سطحی وجود داشته باشد.

$$\left.\begin{matrix}A_1=A_2\\F_{12}=1\\\varepsilon_1=\varepsilon_2=1\end{matrix}\right\}\xrightarrow{(38-7)}\frac{Q}{A}=\sigma\left(T_1^4-T_2^4\right)\qquad(۳۹_۷)$$

ب) اگر دو سطح مساوی و سیاه باشند ولی ضریب شکلی یک نباشد. یعنی فقط مقاومت فضایی وجود داشته باشد:

$$\left.\begin{matrix}A_1=A_2\\\varepsilon_1=\varepsilon_2=1\\F_{12}\neq1\end{matrix}\right\}\xrightarrow{(38-7)}\frac{Q}{A}=\delta F_{12}\left(T_1^4-T_2^4\right)\qquad(۴۰_۷)$$

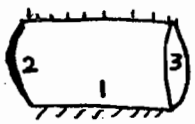
ج) اگر هر دو سطح مساوی باشند و $F_{12}=1$ باشد ولی دو سطح غیرسیاه باشند. یعنی فقط مقاومت سطحی وجود داشته باشد:

$$\left.\begin{matrix}A_1=A_2\\F_{12}=1\\\varepsilon_1,\varepsilon_2\neq1\end{matrix}\right\}\xrightarrow{(38-7)}\frac{Q}{A}=\frac{\sigma\left(T_1^4-T_2^4\right)}{\frac{1}{\varepsilon_1}+\frac{1}{\varepsilon_2}-1}\qquad(۴۱_۷)$$

د) اگر دو سطح مساوی باشند و $F_{12}=1$ باشد و هر دو سطح غیر سیاه ولی از یک جنس باشند:

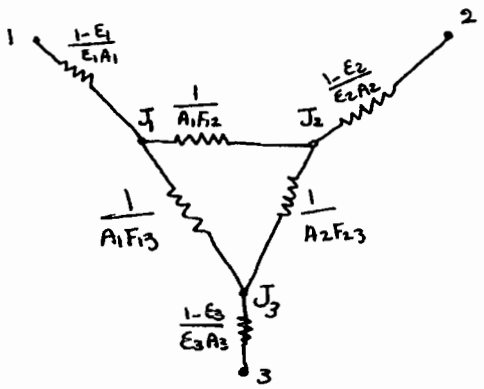
$$\left.\begin{matrix}A_1=A_2\\F_{12}=1\\\varepsilon_1=\varepsilon_2=\varepsilon\end{matrix}\right\}\xrightarrow{(38-7)}\frac{Q}{A}=\frac{\delta\left(T_1^4-T_2^4\right)}{\frac{2}{\varepsilon}-1}\qquad(۴۲_۷)$$

مثال ۶: کوره‌ای مطابق شکل زیر داریم که دور تادور آن عایق است. میزان اتلاف حرارت از سطوح مختلف آن را محاسبه کنید.



شکل (۷ـ۹): کوره با دور عایق

حل : شبکه مقاومتی برای این کوره در شکل زیر نشان داده شده است:



شکل (۷ـ۱۰): شبکه مقاومتی برای کوره با سه سطح و دور عایق

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

مشابه الکتریسیته جریان خالص ورودی به هر گره را برابر صفر می‌گیریم.

$$J_1 \text{ گره}: \frac{E_{b_1}-J_1}{\frac{1-\varepsilon_1}{\varepsilon_1 A_1}}+\frac{J_2-J_1}{\frac{1}{A_1 F_{12}}}+\frac{J_3-J_1}{\frac{1}{A_1 F_{13}}}=0 \qquad (۴۳_۷)$$

$$J_2 \text{ گره}: \frac{E_{b_2}-J_2}{\frac{1-\varepsilon_2}{\varepsilon_2 A_2}}+\frac{J_3-J_2}{\frac{1}{A_2 F_{23}}}+\frac{J_1-J_2}{\frac{1}{A_1 F_{12}}}=0 \qquad (۴۴_۷)$$

$$J_3 \text{ گره}: \frac{E_{b_3}-J_3}{\frac{1-\varepsilon_3}{\varepsilon_3 A_3}}+\frac{J_2-J_3}{\frac{1}{A_2 F_{23}}}+\frac{J_1-J_3}{\frac{1}{A_1 F_{13}}}=0 \qquad (۴۵_۷)$$

از حل معادلات فوق مقادیر J_3, J_2, J_1 محاسبه می‌شود آن‌گاه مقادیر Q_3, Q_2, Q_1 به روش زیر محاسبه می‌شود:

$$Q_1=\frac{E_{b_1}-J_1}{\frac{1-\varepsilon_1}{\varepsilon_1 A_1}}=\frac{\sigma T_1^4-J_1}{\frac{1-\varepsilon_1}{\varepsilon_1 A_1}} \qquad (۴۶_۷)$$

$$Q_2=\frac{E_{b_2}-J_2}{\frac{1-\varepsilon_2}{\varepsilon_2 A_2}}=\frac{\sigma T_2^4-J_2}{\frac{1-\varepsilon_2}{\varepsilon_2 A_2}} \qquad (۴۷_۷)$$

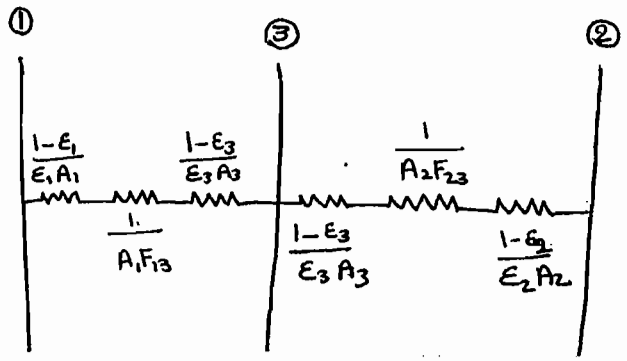
$$Q_3=\frac{E_{b_3}-J_3}{\frac{1-\varepsilon_3}{\varepsilon_3 A_3}}=\frac{\sigma T_3^4-J_3}{\frac{1-\varepsilon_3}{\varepsilon_3 A_3}} \qquad (۴۸_۷)$$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۷ـ۷ سپرهای حرارتی

سپرهای حرارتی صفحاتی هستند که بین دو صفحه که با هم تبادل حرارت به طریقه تابشی انجام می‌دهند قرار گرفته و سبب کاهش اتلاف حرارتی به طریقه تابشی می‌شوند. در شکل (۷ـ۱۱) اثر سپر حرارتی بر مقاومت‌های تابشی نشان داده شده است.



شکل (۷ـ۱۱): سپر حرارتی (3) بین دو صفحه 1 , 2 قرار گرفته است.

مقاومت حرارتی در اثر وجود سپر حرارتی برابر است با:

$$R^*=\frac{1-\varepsilon_1}{\varepsilon_1 A_1}+\frac{1}{A_1 F_{13}}+\frac{1-\varepsilon_3}{\varepsilon_3 A_3}+\frac{1-\varepsilon_3}{\varepsilon_3 A_3}+\frac{1}{A_2 F_{23}}+\frac{1-\varepsilon_2}{\varepsilon_2 A_2} \qquad (۴۹ـ۷)$$

در حالی‌که مقاومت سیستم بدون سپر حرارتی برابر است با:

$$R=\frac{1-\varepsilon_1}{\varepsilon_1 A_1}+\frac{1}{A_1 F_{12}}+\frac{1-\varepsilon_2}{\varepsilon_2 A_2} \qquad (۵۰ـ۷)$$

ملاحظه می‌شود که $R^*>R$ است. در نتیجه افزایش مقاومت سبب کاهش اتلاف حرارتی شده است.

در حالت خاص و با فرضیات $F_{12}=F_{13}=F_{23}=1$, $\varepsilon_1=\varepsilon_2=\varepsilon_3=\varepsilon$, $A_1=A_2=A_3$ مقدار R^*,R به صورت زیر ساده می‌شوند:

$$R^*=2\left(\frac{2}{\varepsilon}-1\right) \qquad (۵۱ـ۷)$$

$$R=\left(\frac{2}{\varepsilon}-1\right) \qquad (۵۲ـ۷)$$

ملاحظه می‌شود که:

$$R^*=2R \qquad (۵۳ـ۷)$$

$$q^*=\frac{1}{2}q \qquad (۵۴ـ۷)$$

یعنی اضافه شدن یک سپر حرارتی باعث نصف شدن انتقال حرارت به طریقه تابشی شده است. درحالتی که سیستم دارای n سپر حرارتی باشد و فرضیات فوق کماکان صادق باشند مقدار مقاومت حرارتی برابر است با:

$$R^*=(n+1)\left(\frac{2}{\varepsilon}-1\right) \qquad (۵۵ـ۷)$$

که n تعداد سپرها است. در نتیجه

$$q^*=\frac{1}{n+1}q \qquad (۵۶ـ۷)$$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

q^* اتلاف حرارتی با n سپر و q اتلاف حرارتی بدون سپر است. به عنوان مثال با استفاده از سه سپر $(n=3)$ اتلاف حرارت یک چهارم خواهد شد.

۷ـ۸ پدیده گل‌خانه‌ای

منحنی ضریب عبور شیشه (τ) بر حسب طول موج مطابق شکل زیر است:

شکل (۷ـ۱۲): ضریب عبور شیشه بر حسب طول موج

از منحنی فوق ملاحظه می‌شود که شیشه در مقابل تابش‌های با طول موج کوتاه شفاف است ولی در مقابل تابش‌های با طول موج بلند کدر است. حال درون یک گل‌خانه را در نظر بگیرید. تابش خورشید به دلیل دمای بالای خورشید دارای طول موج کوتاهی است (قانون وین) از این‌رو از شیشه عبور کرده وارد گل‌خانه می‌شود اما تابش اجسام درون گل‌خانه به دلیل دمای کم دارای طول موج بلندی است از این‌رو از شیشه عبور نمی‌کند. پس درون گل‌خانه ورودی داریم اما خروجی نداریم در نتیجه دمای درون گل‌خانه افزایش می‌یابد. جو زمین هم مانند شیشه عمل می‌کند به همین دلیل است که زمین گرم می‌شود. گازهای گلخانه‌ای (مثل دی‌اکسید کربن) گازهایی هستند که رفتار شیشه‌ای جو زمین را تشدید می‌کنند و لذا باعث گرم‌تر شدن کره زمین و تغییر در شرایط آب‌وهوایی می‌شوند.

۷ـ۹ ترموکوپل‌ها

ترموکوپل وسیله‌ای است که برای اندازه‌گیری دما به کار می‌رود و اساس کار آن تبدیل اختلاف دما به اختلاف ولتاژ است.

نکات زیر در مورد ترموکوپل‌ها حایز اهمیت است:

۱ـ ترموکوپل‌ها را برای افزایش دقت سری می‌بندند.

۲ـ ترموکوپل‌ها را برای متوسط‌گیری موازی به‌کار می‌برند.

۳ـ برای کاهش خطای ترموکوپل‌ها طول قاب آنها را بلند انتخاب می‌کنند (بر اساس تئوری فین‌ها) طبق معادله (۲ـ۸۸):

$$\frac{T-T_\infty}{T_0-T_\infty}=\exp(-mL)$$

اگر طول زیاد باشد $(L\to\infty)$ در نتیجه $(T\to T_\infty)$ میل خواهد کرد یعنی ترموکوپل دمای محیط را دقیق نشان می‌دهد. اختلاف دمایی که ترموکوپل نشان می‌دهد با دمای واقعی محیط را خطای اندازه‌گیری می‌گویند:

$$\text{خطا}=T-T_\infty \qquad (۵۷ـ۷)$$

۴ـ وزن قاب ترموکوپل‌ها را کم انتخاب می‌کنند (برای کاهش خطا) طبق مباحث انتقال حرارت ناپایداری می‌دانیم که (۴ـ۸):

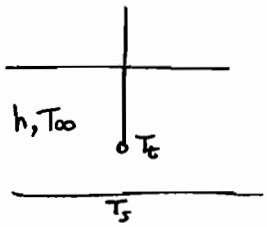
$$\frac{T-T_\infty}{T_i-T_\infty}=\exp\left(-\frac{hA}{\rho V C_p}t\right)$$

اگر وزن کم باشد $\rho V\to 0$ در نتیجه $T\to T_\infty$ یعنی ترموکوپل دمای محیط را به دقت نشان می‌دهد.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۵ـ فرض کنید درون کانالی مطابق شکل زیر دمای گازهای احتراق توسط یک ترموکوپل اندازه‌گیری می‌شود.



شکل (۷ـ۱۳): اندازه‌گیری دمای گازهای احتراق توسط ترموکوپل

بیلان انرژی برای ترموکوپل فوق، عبارت است از:

$$h A_t \left(T_\infty - T_t \right) = \frac{\sigma \left(T_t^4 - T_s^4 \right)}{\frac{1-\varepsilon_t}{\varepsilon_t A_t} + \frac{1}{A_t F_{ts}} + \frac{1-\varepsilon_s}{\varepsilon_s A_s}} \qquad (۵۸_۷)$$

که در معادله فوق:

T_∞ = دمای گازهای احتراق — T_t = دمایی که ترموکوپل نشان می‌دهد.

T_s = دمای دیواره — h = ضریب انتقال حرارت جابجایی گازها

F_{ts} = ضریب شکلی ترموکوپل نسبت به دیواره — ε_t = ضریب گسیل ترموکوپل

ε_s = ضریب گسیل دیواره — A_t = سطح جانبی ترموکوپل

A_s = سطح دیواره — σ = ثابت بولتزمن

$$\text{خطای اندازه‌گیری} = T_\infty - T_t = \frac{\sigma \left(T_t^4 - T_s^4 \right)}{h \left[\frac{1-\varepsilon_t}{\varepsilon_t} + \frac{1}{F_{ts}} + \frac{A_t}{A_s} \frac{1-\varepsilon_s}{\varepsilon_s} \right]} \qquad (۵۹_۷)$$

یعنی برای کاهش خطای ترموکوپل‌ها به طریقه جابجایی و تابش تمهیدات زیر باید اندیشیده شود:

الف) ترموکوپل‌ها را براق می‌سازند (کاهش ε_t)

ب) استفاده از سپر حرارتی جهت افزایش مقاومت‌ها در معادله فوق

ج) افزایش سرعت گازهای احتراق به منظور افزایش h

به طور خلاصه می‌توان گفت:

ترموکوپل‌ها را بلند، سبک و براق می‌سازند و در محیط‌هایی با h بالا و به همراه سپر حرارتی استفاده می‌کنند.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

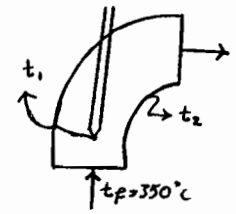
پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۷ـ۱۰ تست‌های فصل هفتم

۱ ـ برای افزایش انتقال حرارت به جسم نسبتاً کوچکی که در وسط یک کوره بزرگ قرار گرفته کدام راه‌حل را توصیه می‌نمایید؟

۱) سطح دیواره کوره از جسم سیاه باشد.
۲) سطح کوره دارای ضریب انعکاس بالا باشد.
۳) سطح جسم با ضریب گسیل (ε) بالا انتخاب شود.
۴) گرمای ویژه جسم نسبت به سطح کره بیشتر باشد.

۲ ـ بر سر راه گازهای داغ حاصل از احتراق $t_f = 350^\circ C$ جاری در یک زانویی یک ترموکوپل نصب کرده‌ایم. اگر جداره زانویی عایقی نداشته باشد دمای قرائت شده توسط ترموکوپل t_1 با توجه به پدیده تابش چقدر است؟

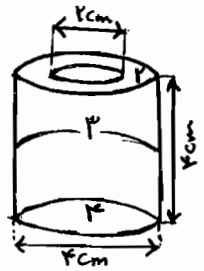


۱) $t_1 < t_2 < t_f$
۲) $t_f > t_1 > t_2$
۳) $t_1 < t_f < t_2$
۴) $t_2 < t_f < t_1$

۳ ـ کوره‌ای بسیار طویل با مقطع مثلثی به شکل زیر داریم. مقدار ضریب شکلی (وضعی) F_{12} تابش چقدر است؟

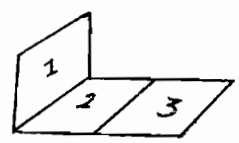
۱) 1.2
۲) 1.3
۳) $\frac{\sqrt{3}}{3}$
۴) $\frac{\sqrt{2}}{2}$

۴ ـ در سیلندر بسته روبرو اگر مقدار $F_{4\to 1}$ برابر 0.04 باشد مقدار $F_{1\to 3}$ برابر:



۱) 0.16
۲) 0.75
۳) 0.84
۴) 0.92

۵ ـ اگر فاکتوردید صفحات عمود بر هم مطابق شکل معلوم باشد F_{1-3} برابر است با:



۱) $F_{1-2} - F_{2-3} + F_{1-2,3}$
۲) $F_{1-2} + F_{2-3} + F_{1-2,3}$
۳) $F_{1-2,3} - F_{1,2}$
۴) $F_{1-2,3} + F_{1,2}$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۶ ـ اگر دمای دیواری $1000\ R$ و ضریب انتشار آن 0.9 باشد شار حرارتی تشعشعی از دیواره چند $\frac{Btu}{hr\,ft^2}$ است؟

$(\sigma=0.2\times10^{-8}\frac{Btu}{hr\,ft^2.R^4})$

۱) $1600\frac{Btu}{hr\,ft^2}$ ۲) $1800\frac{Btu}{hr\,ft^2}$ ۳) $2000\frac{Btu}{hr\,ft^2}$ ۴) $220\frac{Btu}{hr\,ft^2}$

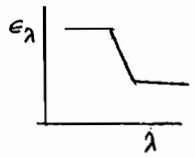
۷ ـ دو صفحه در حال تبادل تابشی گرمایی بوده و در خلأ قرار دارند. اگر فاصله میان دو صفحه را با گازی با مولکول‌های ..... پر کنیم، شدت تابش همانند حالت خلأ خواهد بود.

۱) متقارن و قطبی ۲) متقارن و غیرقطبی ۳) نامتقارن و قطبی ۴) نامتقارن و غیرقطبی

۸ ـ دو صفحه به ابعاد $1m\times1m$ با دماهای $100^\circ C$ و $1000^\circ C$ به فاصله $1m$ از هم واقعند. اگر فاصله 10 متر شود انتقال حرارت تشعشعی

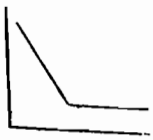
۱) 10 برابر زیاد می‌شود. ۲) 10برابر کم می‌شود. ۳) $\sqrt{10}$ برابر کم می‌شود. ۴) کاهش می‌یابد.

۹ ـ کدام‌یک نمودار گسیلندگی طیفی (E_λ) شیشه را بر حسب طول موج درست نمایش می‌دهد؟

۱) 

۲)

۳)

۴) 

۱۰ ـ در اتاقی دمای واقعی هوا برابر $T_\infty=300^\circ K$ است و دیوارها در دمای $T_s=280^\circ K$ هستند. ترموکوپلی با $\varepsilon=0.85$ و ضریب انتقال حرارت کنوکسیونی $h=15\frac{W}{m^{2\circ}C}$ در اتاق قرار داده می‌شود. ترموکوپل چه دمایی را نشان می‌دهد؟

۱) $285^\circ K$ ۲) $295.3^\circ K$ ۳) $386.5^\circ K$ ۴) $323.6^\circ K$

۱۱ ـ بالاترین دمایی که امکان یخ زدن میوه‌جات در شب وجود دارد در یکی از شرایط محیطی زیر است:

۱) دمای هوا بالای صفر و ابری یا صاف بودن آسمان تاثیری ندارد.

۲) دمای هوا بالای صفر ولی آسمان ابری

۳) دمای هوا بالای صفر ولی آسمان صاف

۴) دمای هوا زیر صفر

۱۲ ـ سپرهای حرارتی را در کوره برای ..... به کار می‌برند.

۱) جلوگیری از انتقال حرارت به صورت جابجایی

۲) جلوگیری از انتقال حرارت به صورت تشعشع

۳) جلوگیری از انتقال حرارت به صورت جابجایی و تشعشعی

۴) جلوگیری از انتقال حرارت به صورت هدایتی جابجایی و تشعشعی

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۱۳ ـ دیواره‌های یک اتاق بزرگ به وسیله یک بخاری دودکش‌دار گرم می‌شود. انتقال حرارت تابشی به دیواره‌ها در کدام‌یک از حالات زیر زیادتر است؟

۱) دیواره بخاری با ضریب گسیل زیاد انتخاب شود.

۲) رنگ دیوار اتاق براق شود به‌طوری که ضریب گسیل تقلیل یابد.

۳) بخاری به وسط اتاق منتقل شود، طول دودکش در هر دو حالت ثابت است.

۴) رنگ دیوار اتاق تیره شود به طوری که ضریب گسیل دیواره زیاد باشد.

۱۴ ـ در اندازه‌گیری دمای حاصله از گازهای احتراق به وسیله کدام یک از پیشنهادات زیر می‌توان خطای ترموکوپل را کاهش داد؟

۱) افزایش سرعت گازها در مجاورت ترموکوپل

۲) کاهش دمای دیواره‌های اطراف ترموکوپل

۳) افزایش ضریب تشعشعی گازهای حاصله از احتراق

۴) هیچ‌کدام

۱۵ ـ دو صفحه با مساحت نامحدود به دماهای T_1 و T_2 به فاصله 1m از هم واقعند اگر فاصله 100 برابر شود انتقال تشعشعی:

۱) ثابت می‌ماند.

۲) 100 برابر زیاد می‌شود.

۳) 100 برابر کم می‌شود.

۴) دقیقاً نمی‌توان گفت زیاد یا کم می‌شود.

۱۶ ـ دو صفحه بزرگ و سیاه در دمای متفاوت با هم تبادل تابشی دارند. با گذاشتن یک سپر حرارتی سیاه میان دوصفحه، انتقال حرارت تابشی:

۱) بسیار کم می‌شود.

۲) افزایش می‌یابد.

۳) نصف می‌شود.

۴) تغییر نمی‌کند.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۷ـ۱۱ پاسخ تست‌های فصل هفتم

۱ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

هر چه ضریب گسیل جسم بیشتر باشد مقاومت تابشی آن کمتر بوده و لذا میزان تبادل حرارت آن بیشتر می‌شود.

۲ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

سیال به طریقه جابجایی به ترموکوپل حرارت می‌دهد و ترموکوپل به طریقه تابشی با دیواره تبادل گرما می‌کند.

۳ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$F_{21}+F_{22}+F_{23}=1$$

$$F_{22}=0$$

$$F_{21}=F_{23}$$

در نتیجه داریم:

$$F_{21}=\frac{1}{2}$$

$$F_{12}=\frac{A_2}{A_1}F_{21}=\frac{1}{\sin 45}\times\frac{1}{2}=\frac{\sqrt{2}}{2}$$ (رابطه تقابل)

راه‌حل ساده:

اگر در مثلثی طول اضلاع L_3, L_2, L_1 باشد ضرایب شکلی از معادلات زیر به‌دست می‌آیند:

$$F_{12}=\frac{L_1+L_2-L_3}{2L_1};\ F_{13}=\frac{L_1+L_3-L_2}{2L_1};\ F_{23}=\frac{L_2+L_3-L_1}{2L_2}$$

۴ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$F_{11}+F_{12}+F_{13}+F_{14}=1$$

$$F_{11}=F_{12}=0$$

$$F_{14}=\frac{A_4}{A_1}F_{41}=\left(\frac{4}{2}\right)^2\times 0.04=0.16$$

$$F_{13}=1-0.16=0.84$$

۵ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

۶ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$q=0.2\times10^{-8}\times0.9\times1000^4=1800\ \frac{Btu}{hr.ft^2}$$

۷ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

مولکول‌های متقارن و غیرقطبی در مقابل تابش شفاف هستند و هیچ تابشی را جذب نمی‌کنند.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۸ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

چون ضریب شکلی کم می‌شود.

۹ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

شیشه در مقابل طول موج‌های کوتاه شفاف است. (τ بالا، ε,α کم) و در طول موج‌های بالا کدر است.(τ کم و ε,α زیاد)

۱۰ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

طبق معادله (۷ـ۵۹) و با فرض $\varepsilon_s=1$, $F_{ts}=1$ (ضریب دید ترموکوپل نسبت به دیواره)

$$T_\infty - T_t = \frac{\sigma\varepsilon\left(T_t^4 - T_s^4\right)}{h}$$

$$300 - T_t = \frac{5.66\times10^{-8}\times0.85\left(T_t^4 - 280^4\right)}{15}$$

$$T_t = 295.3^\circ K$$

۱۱ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

به علت تابش بین میوه و آسمان به عنوان مثال فرض کنید.

$$T_{ice}=273^\circ K\ ,\ T_{sky}=230^\circ K\ ,\ h=20\frac{W}{m^2\,^\circ C}$$

$$h\left(T_\infty - T_{ice}\right)=\sigma\left(T_{ice}^4 - T_{sky}^4\right)$$

$$20\left(T_\infty - 273\right)=5.66\times10^{-8}\left(273^4 - 230^4\right)$$

$$T_\infty = 280.8^\circ K \simeq 7.8^\circ C > 0$$

نکته این سوال در تابش بین میوه و آسمان صاف $\left(T_{sky}=230^\circ K\right)$ است. اگر آسمان ابری بود $\left(T_{sky}=280^\circ K\right)$ داشتیم:

$$T_\infty = 271.3T_{sky} = 280^\circ KK = -1.7^\circ C < 0$$

یعنی در آسمان صاف اگر دمای هوا بالای صفر هم باشد میوه یخ می‌زند اما در آسمان ابری حتماً باید دمای هوا زیر صفر باشد تا میوه یخ ببندد.

۱۲ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

۱۳ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

ضریب گسیل بخاری بالا باشد انرژی بیشتری از خود گسیل می‌کند. دیواره‌های اتاق هم باید براق باشند تا قسمت عمده تابش منعکس شود. البته چون سطح بخاری کوچکتر از سطح دیواره است لذا مقاومت بخاری کنترل‌کننده است $\left(\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon A}\right)$

۱۴ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

۱۵ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

چون صفحات نامحدود هستند افزایش فاصله تاثیری ندارد.

۱۶ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

فصل هشتم

مبدل‌های حرارتی

۸ـ۱ مقدمه

مبدل حرارتی وسیله‌ای است که در آن دو سیال گرم و سرد به صورت غیرمستقیم (از طریق یک سطح واسط) با هم تبادل حرارت می‌کنند. مبدل‌های حرارتی یکی از مهم‌ترین دستگاه‌های مهندسی شیمی به شمار می‌روند.

۸ـ۲ تقسیم‌بندی مبدل‌ها بر اساس آرایش جریان

۱ـ جریان همسو (Parallel Flow)

۲ـ جریان ناهمسو (Counter Flow)

۳ـ جریان متقاطع (Cross Flow)

۸ـ۳ تقسیم‌بندی مبدل‌ها بر اساس ساختار مبدل

۱ـ مبدل‌های لوله‌ای متحدالمحور (Double Pipe)

۲ـ مبدل‌های پوسته و لوله (Shell & Tube)

۳ـ مبدل‌های کتل (Kettel Type)

۴ـ مبدل‌های حرارتی فشرده (Compact Heat Exchanger)

مبدل‌های حرارتی فشرده دارای سطح انتقال حرارت بسیار زیاد در یک حجم کوچک هستند (مثلاً $700\frac{m^2}{m^3}$) و در سیستم‌هایی که ضریب انتقال حرارت بسیار کم است کاربرد دارند. (مثل Air Cooler)

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۸ـ۴ ضریب کلی انتقال حرارت در مبدل

اصولاً در مبدل‌های حرارتی پنج مقاومت اصلی در مقابل انتقال حرارت وجود دارد:

۱ـ مقاومت کنوکسیون داخل

۲ـ مقاومت ناشی از کثیف شدن سطح داخلی (در اثر رسوب‌گذاری سیال، Fouling)

۳ـ مقاومت هدایتی جداره

۴ـ مقاومت ناشی از کثیف شدن سطح خارجی (Fouling)

۵ـ مقاومت کنوکسیونی خارج

به عبارتی:

$$R=\frac{1}{uA}=\frac{1}{h_i A_i}+\frac{R_{fi}}{A_i}+\frac{Ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2k\pi L}+\frac{R_{fo}}{A_o}+\frac{1}{h_o A_o} \qquad (۱ـ۸)$$

h_o , h_i = ضریب جابجایی داخل و خارج می‌باشند.

R_{fo} , R_{fi} = ضریب Fouling داخل و خارج می‌باشد.

ضریب کلی انتقال حرارت را می‌توان بر مبنای سطح داخل (u_i) و هم بر مبنای سطح خارج (u_0) برآورد کرد. ضریب فولینگ به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$R_f=\frac{1}{u_{\text{کثیف}}}-\frac{1}{u_{\text{تمیز}}} \qquad (۲ـ۸)$$

ضریب فولینگ به سرعت سیال، دمای عملیاتی، فاصله زمانی سرویس کاری مبدل و جنس سیال بستگی دارد.

۸ـ۵ محاسبات مبدل‌های حرارتی

دو روش اساسی برای محاسبات مبدل‌های حرارتی موجود است:

۱ـ روش LMTD

۲ـ روش $\varepsilon-NTU$

برای طراحی مبدل‌های حرارتی معلومات مسئله عبارتند از:

۱ـ دبی‌های جرمی جریانهای سرد و گرم $(\dot{m}_h , \dot{m}_c)$

۲ـ دماهای ورودی و خروجی جریانهای گرم و سرد

۳ـ خواص فیزیکی سیال گرم و سرد

۴ـ ضریب کلی انتقال حرارت

مقدار مجهول در طراحی مبدل‌ها، سطح موردنیاز (A) است.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۸ـ۵ـ۱ روش LMTD

اگر در یک مبدل سیال سرد با دمای T_{ci} وارد شده و با دمای T_{co} خارج شود و دمای سیال گرم ورودی T_{hi} و T_{ho} دمای خروجی آن باشد. بیلان انرژی برای این مبدل به صورت زیر است:

$$q=\dot{m}_h C_{p_h}\left(T_{hi}-T_{ho}\right)=C_h\left(T_{hi}-T_{ho}\right) \quad (۳ـ۸)$$

$$q=\dot{m}_c C_{p_c}\left(T_{co}-T_{ci}\right)=C_c\left(T_{co}-T_{ci}\right) \quad (۴ـ۸)$$

C_{p_h} و C_{p_c} ظرفیت‌های گرمایی جریانهای گرم و سرد می‌باشد. اگر المانی از سطح مبدل به اندازه dA در نظر گرفته شود، بیلان انرژی برای این المان به شکل زیر است:

$$dq=-\dot{m}_h C_{p_h} dT_h=-C_h dT_h \quad (۵ـ۸)$$

$$dq=\dot{m}_c C_{p_c} dT_c=C_c dT_c \quad (۶ـ۸)$$

$$dq=u(dA)\Delta T \quad (۷ـ۸)$$

$$\Delta T=T_h-T_c \quad (۸ـ۸)$$

$$d(\Delta T)=dT_h-dT_c \quad (۹ـ۸)$$

dT_h, dT_c از روابط (۸ـ۵) و (۸ـ۶) در معادله (۸ـ۹) جایگزین می‌شود:

$$d(\Delta T)=-dq\left[\frac{1}{C_h}+\frac{1}{C_c}\right] \quad (۱۰ـ۸)$$

حال با قرار دادن مقدار dq از معادله (۸ـ۷) در معادله فوق داریم:

$$d(\Delta T)=-u(\Delta T)(dA)\left[\frac{1}{C_h}+\frac{1}{C_c}\right] \quad (۱۱ـ۸)$$

$$\frac{d\Delta T}{\Delta T}=-u\left[\frac{1}{C_h}+\frac{1}{C_c}\right]dA \quad (۱۲ـ۸)$$

در روش LMTD فرض می‌شود:

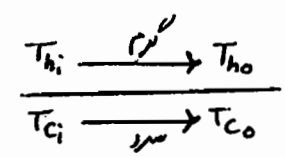
الف) ضریب کلی انتقال حرارت در طول مبدل ثابت است.

ب) ظرفیت‌های گرمایی سیالات گرم و سرد در طول مبدل ثابت است.

حال بایستی از معادله فوق انتگرال گرفت.

۸ـ۵ـ۲ حالت Parallel Flow

مطابق شکل (۸ـ ۱) یک جریان همسو (Parallel Flow) را در نظر بگیرید:



شل (۸ـ۱): جریان همسو در مبدل‌های حرارتی

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

با انتگرال‌گیری از معادله (۸ـ۱۲) برای دو جریان همسوی سرد و گرم می‌توان نوشت:

$$\text{Ln}\frac{T_{ho}-T_{co}}{T_{hi}-T_{ci}}=-u\left[\frac{1}{C_h}+\frac{1}{C_c}\right]A \qquad (۸ـ۱۳)$$

با قرار دادن معادلات (۸ـ۳) و (۸ـ۴) در معادله (۸ـ۱۳):

$$\text{Ln}\frac{T_{ho}-T_{co}}{T_{hi}-T_{ci}}=-\frac{u}{q}\left[\left(T_{hi}-T_{ho}\right)+\left(T_{co}-T_{ci}\right)\right]A \qquad (۸ـ۱۴)$$

$$q=uA\left[\left(T_{ho}-T_{co}\right)-\left(T_{hi}-T_{ci}\right)\right]\Big/\ \text{Ln}\left(\frac{T_{ho}-T_{co}}{T_{hi}-T_{ci}}\right) \qquad (۸ـ۱۵)$$

در مبدل‌های حرارتی متوسط لگاریتمی اختلاف دما (LMTD) چنین تعریف می‌شود:

$$\text{LMTD}=\frac{\left(T_{ho}-T_{co}\right)-\left(T_{hi}-T_{ci}\right)}{\text{Ln}\dfrac{T_{ho}-T_{co}}{T_{hi}-T_{ci}}} \qquad (۸ـ۱۶)$$

$$q=u\,A.\text{LMTD} \qquad (۸ـ۱۷)$$

۸ـ۵ـ۳ حالت Counter Flow

در حالت ناهمسو چون جریانهای سرد و گرم با هم ناهمسو هستند پس LMTD چنین تعریف می‌شود:

$$(\text{LMTD})_{CF}=\frac{\left(T_{hi}-T_{co}\right)-\left(T_{ho}-T_{ci}\right)}{\text{Ln}\dfrac{T_{hi}-T_{co}}{T_{ho}-T_{ci}}} \qquad (۸ـ۱۸)$$

$$q=u\,A\left(\text{LMTD}\right)_{CF} \qquad (۸ـ۱۹)$$

مثال ۱: در یک مبدل حرارتی دمای سیال سرد از $20^\circ C$ به $70^\circ C$ می‌رسد و دمای سیال گرم از $150^\circ C$ به $90^\circ C$ می‌رسد. LMTD را برای حالت همسو (PF) و ناهمسو (CF) محاسبه کنید.

$$(۸ـ۱۶) \quad \rightarrow \quad (\text{LMTD})_{PF}=\frac{(90-70)-(150-20)}{\text{Ln}\dfrac{90-70}{150-20}}=58.8^\circ C$$

$$(۸ـ۱۷) \quad \rightarrow \quad (\text{LMTD})_{CF}=\frac{(150-70)-(90-20)}{\text{Ln}\dfrac{150-70}{90-20}}=74.9^\circ C$$

ملاحظه می‌شود که در حالت ناهمسو (CF) متوسط لگاریتمی اختلاف دما (LMTD) بیش از حالت همسو (PF) است. به عبارتی در شرایط دمایی یکسان مبدل‌های ناهمسو سطح کمتری نیاز دارند و در سطح یکسان مبدل‌های ناهمسو دارای میزان تبادل حرارت بیشتری هستند.

$$A_{PF}.\text{LMTD}_{PF}=A_{CF}.\text{LMTD}_{CF} \qquad (۸ـ۲۰)$$

$$\frac{A_{CF}}{A_{PF}}=\frac{\text{LMTD}_{PF}}{\text{LMTD}_{CF}}<1 \qquad (۸ـ۲۱)$$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۸ـ۵ـ۴ روش LMTD برای سایر مبدل‌ها

برای بقیه انواع مبدل‌های حرارتی روش LMTD به صورت زیر است:

۱ـ جریان سیال‌های گرم و سرد را ناهمسو (CF) فرض کرده و $(LMTD)_{CF}$ محاسبه می‌شود. از معادله (۸ـ ۱۸)

۲ـ برای هر مبدل یک ضریب تصحیح مانند F تعریف می‌گردد که در یک سری نمودارهای خاص برای هر مبدل داده شده است.

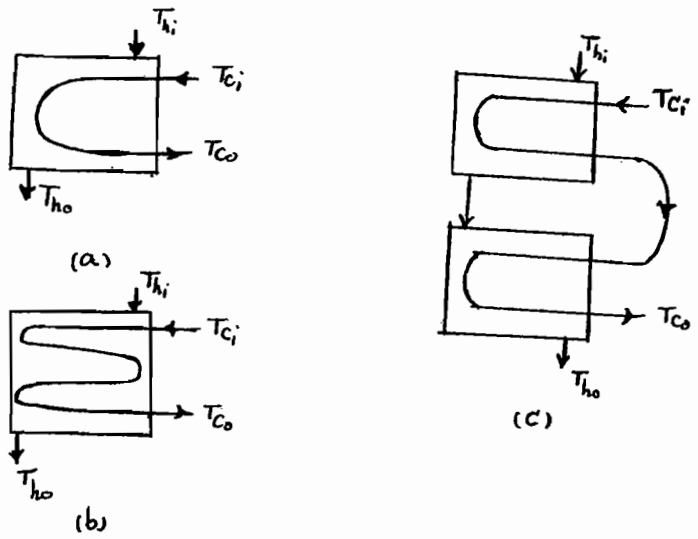
۳ـ رابطه انتقال حرارت در مبدل به فرم زیر است:

$$q=u.A.F(LMTD)_{CF} \qquad (۲۲ـ۸)$$

در سیستم‌هایی که یک سیال دچار تغییر فاز (جوشش یا چگالش) می‌شود مقدار F برابر یک است.

۸ـ۵ـ۵ مبدل‌های چند مسیر گذر (Multi pass)

عده مسیرهای گذر سیال را پاس گویند. در شکل (۸ـ۲) تعدادی از مبدل‌های چند پاس نشان داده شده است. شکل (a) مبدلی است با یک پاس پوسته و دو پاس لوله، شکل (c) مبدلی است با دو پاس پوسته و 4 پاس لوله.



شکل (۸ـ۲): مبدل‌های چند پاس (a) مبدل ۲ـ۱ (b) مبدل ۴ ـ۱ (c) مبدل ۴ـ۲

در مورد مسیرهای گذر لوله و پوسته نکات زیر را به خاطر بسپارید:

۱ـ در مبدل‌های چند پاس، عدهٔ پاس‌های پوسته روی F موثر است و هر چه عده پاس‌های پوسته زیاد شود F هم زیاد می‌شود. معیار انتخاب حداقل پاس پوسته به صورت زیر است:

$$F>0.8 \qquad (۲۳ـ۸)$$

یعنی حداقل پاس‌های پوسته که معادله (۸ـ۲۳) را ارضا کند.

۲ـ عده پاس‌های لوله اثری در مقدار F ندارد. یعنی مبدل‌های ۲ـ۱، ۴ـ۱ و ۶ـ۱ هیچ تفاوتی از حیث F ندارند اما هر چه عده پاس‌های لوله زیاد شود طول لوله مورد استفاده کوتاه‌تر می‌شود و مبدل کم حجم‌تر می‌شود. افزایش عده پاس‌های لوله برای زمانی است که طول لوله‌های حاصله زیاد باشد و باعث حجیم شدن مبدل حرارتی شود. طول مناسب برای لوله‌ها طبق استاندارد TEMA حداکثر برابر 8 فوت است. یعنی اگر در محاسبات طول لوله 30 فوت شد، جریان لوله‌ها را 4 پاس می‌کنیم تا طول هر یک 7.5 فوت شود.

۳ـ عده پاس‌ها هیچ اثری بر ضریب کلی انتقال حرارت (u) ندارد.

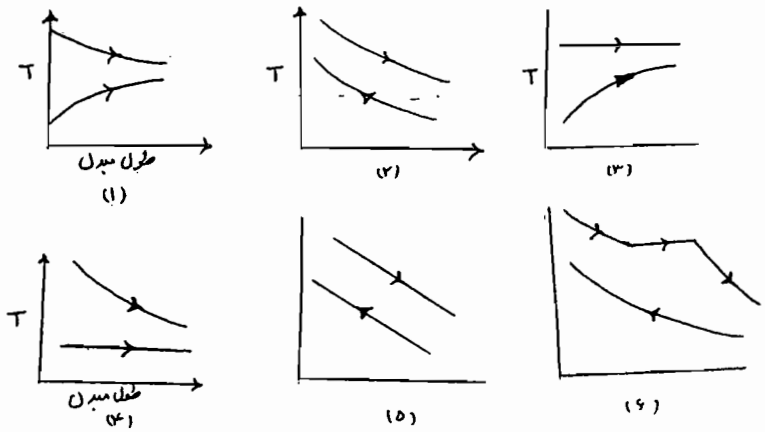
۴ـ افزایش عده پاس‌ها افت فشار لوله را افزایش می‌دهد.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۸ـ۵ـ۶ منحنی تغییرات دما در مبدل‌های حرارتی

در زیر منحنی تغییرات دما در چند مبدل نشان داده شده است:



شکل (۸ـ۳): منحنی تغییرات دما برای مبدل‌های مختلف

۱) مبدل حرارتی با جریان همسو (PF)

۲) مبدل حرارتی با جریان ناهمسو (CF)

۳) مبدلی که در آن میعان صورت می‌گیرد (کندانسور)

۴) مبدلی که در آن جوشش اتفاق می‌افتد.

۵) مبدلی که در آن جریان ناهمسو با $C_h = C_c$ است.

۶) مبدلی که در آن سیال گرم از حالت بخار سوپرهیت تبدیل به مایع سرد می‌شود.

۸ـ۵ـ۷ روش $\varepsilon - NTU$

در این روش از ضرایب تاثیر (ε) استفاده می‌شود. به دلیل این‌که روش LMTD نیاز به چهار دما دارد گاهی در محاسبات مبدل‌ها از ابتدا هر چهار دما معلوم نیستند از روش ضرایب تاثیر استفاده می‌شود.

سیال مینیمم: سیالی که حاصل‌ضرب دبی جرمی در ظرفیت گرمایی آن حداقل باشد.

ماکزیمم اختلاف دما: بیشترین اختلاف دما در یک مبدل اختلاف دمای سیال گرم و سرد ورودی است $\left(T_{hi} - T_{ci}\right)$

ماکزیمم تبادل حرارتی: میزان تبادل حرارتی ناشی از قرار گرفتن سیال مینیمم در معرض ماکزیمم اختلاف دما را گویند.

$$q_{max} = C_{min}\,\Delta T_{max} = C_{min}\left(T_{hi} - T_{ci}\right) \qquad (۲۴ـ۸)$$

ضریب تاثیر ε به شکل زیر تعریف می‌شود:

الف) سیال گرم سیال مینیمم باشد: $\left(C_h = C_{min}\right)$

$$\varepsilon = \frac{q}{q_{max}} = \frac{C_h\left(T_{hi} - T_{ho}\right)}{C_h\left(T_{hi} - T_{ci}\right)} = \frac{T_{hi} - T_{ho}}{T_{hi} - T_{ci}} \qquad (۲۵ـ۸)$$

ب) سیال سرد سیال مینیمم باشد: $\left(C_c = C_{min}\right)$

$$\varepsilon = \frac{q}{q_{max}} = \frac{C_c\left(T_{co} - T_{ci}\right)}{C_c\left(T_{hi} - T_{ci}\right)} = \frac{T_{co} - T_{ci}}{T_{hi} - T_{ci}} \qquad (۲۶ـ۸)$$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پس ε عبارت است از نسبت اختلاف دمای سیال گرم به ماکزیمم اختلاف دما اگر سیال گرم سیال مینیمم باشد و یا اختلاف دمای سیال سرد به ماکزیمم اختلاف دما اگر سیال سرد سیال مینیمم باشد.

۸ـ۵ـ۸ روش ε−NTU برای جریان همسو (PF)

اگر فرض شود که سیال گرم سیال مینیمم باشد (در ادامه نشان داده شده است که اگر سیال سرد سیال مینیمم باشد هم رابطه نهایی تغییر نخواهد کرد) از روش LMTD برای جریان همسو داشتیم:

$$\text{Ln}\frac{T_{ho}-T_{co}}{T_{hi}-T_{ci}}=-uA\left[\frac{1}{C_h}+\frac{1}{C_c}\right] \quad \rightarrow \quad (۱۳ـ۸)$$

$$\text{Ln}\frac{T_{ho}-T_{co}}{T_{hi}-T_{ci}}=-\frac{uA}{C_{min}}\left[1+\frac{C_{min}}{C_{max}}\right] \qquad (۲۷ـ۸)$$

$$\frac{uA}{C_{min}}=NTU \quad , \quad C_r=\frac{C_{min}}{C_{max}} \qquad (۲۸ـ۸)$$

NTU یا به عبارتی تعداد واحدهای انتقال (Numbe of Transfer Unit) طبق معادله (۲۸ـ۸) تعریف می‌شود با جانشانی (۲۸ـ۸) در معادله (۲۷ـ۸) معادله زیر به‌دست می‌آید:

$$\frac{T_{ho}-T_{co}}{T_{hi}-T_{ci}}=\exp\left[-NTU\left(1+C_r\right)\right] \qquad (۲۹ـ۸)$$

سمت چپ معادله بالا به شکل زیر قابل بازنویسی است:

$$\frac{T_{ho}-T_{co}}{T_{hi}-T_{ci}}=\frac{T_{ho}-T_{hi}+T_{hi}-T_{co}}{T_{hi}-T_{ci}} \qquad (۳۰ـ۸)$$

از طرفی از موازنه انرژی سیال گرم و سرد رابطه زیر برقرار است:

$$C_h\left(T_{hi}-T_{ho}\right)=C_c\left(T_{co}-T_{ci}\right) \qquad (۳۱ـ۸)$$

$$T_{co}=T_{ci}+C_r\left(T_{hi}-T_{ho}\right) \qquad (۳۲ـ۸)$$

در نتیجه با جایگذاری T_{co} از معادله (۳۲ـ۸) در معادله (۳۰ـ۸) داریم:

$$\frac{T_{ho}-T_{co}}{T_{hi}-T_{ci}}=\frac{\left(T_{ho}-T_{hi}\right)+\left(T_{hi}-T_{ci}\right)-C_r\left(T_{hi}-T_{ho}\right)}{T_{hi}-T_{ci}} \qquad (۳۳ـ۸)$$

$$\frac{T_{ho}-T_{co}}{T_{hi}-T_{ci}}=\frac{T_{ho}-T_{hi}}{T_{hi}-T_{ci}}+1-C_r\frac{T_{hi}-T_{ho}}{T_{hi}-T_{ci}} \qquad (۳۴ـ۸)$$

$$\frac{T_{ho}-T_{co}}{T_{hi}-T_{ci}}=-\varepsilon+1-C_r\varepsilon \qquad (۳۵ـ۸)$$

$$\frac{T_{ho}-T_{co}}{T_{hi}-T_{ci}}=1-\varepsilon\left(1+C_r\right)=\exp\left[-NTU\left(1+C_r\right)\right] \qquad (۳۶ـ۸)$$

با جایگذاری معادله (۳۶ـ۸) در معادله (۲۹ـ۸) مقدار ε به‌دست می‌آید:

$$\varepsilon=\frac{1-\exp\left(-NTU\left(1+C_r\right)\right)}{1+C_r} \qquad (۳۷ـ۸)$$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

معادله فوق معادله $\varepsilon-NTU$ برای جریان همسو (PF) می‌باشد برای سایر مبدل‌ها روابط مشابهی وجود دارد،که در کتاب‌های مرجع انتقال حرارت جدول‌بندی شده است.

حسن روش $\varepsilon-NTU$ این است که در محاسبه ε از سه دما استفاده می‌شود بر خلاف روش LMTD که نیاز به چهار دما داشت.

اگر در مبدلی تغییر فاز رخ دهد حتماً آن سیالی که تغییر فاز می‌دهد دارای $C\to\infty$ است یعنی سیالی که تغییر فاز می‌دهد سیال ماکزیمم است.به عبارت دیگر:

$$C_r=\frac{C_{min}}{C_{max}}=0 \qquad (۳۸_۸)$$

در نتیجه رابطه $\varepsilon-NTU$ برای یک مبدل که تغییر فاز می‌دهد به صورت زیر است:

$$\varepsilon=1-\exp[-NTU] \qquad (۳۹_۸)$$

۸ـ۵ـ۹ مفهوم NTU

با توجه به معادلات (۹ـ۲۸) و (۹ـ۱۷) داریم:

$$NTU=\frac{uA}{C_{min}}=\frac{\frac{q}{LTMD}}{\frac{q}{\Delta T_{min.}}}=\frac{\Delta T_{min}}{LTMD} \qquad (۴۰_۸)$$

الف) اگر سیال گرم سیال مینیمم باشد:

$$NTU=\frac{T_{hi}-T_{ho}}{LMTD} \qquad (۴۱_۸)$$

ب) اگر سیال سرد سیال مینیمم باشد:

$$NTU=\frac{T_{co}-T_{ci}}{LMTD} \qquad (۴۲_۸)$$

NTU عبارت است از نسبت اختلاف دمای سیال گرم به متوسط لگاریتمی اختلاف دما اگر سیال گرم سیال مینیمم باشد. یا عبارت است از نسبت اختلاف دمای سیال سرد به متوسط لگاریتمی اختلاف دما اگر سیال سرد سیال مینیمم باشد.

۸ـ۶ قطر معادل در محاسبات مبدل‌های حرارتی

از مباحث مربوط به مکانیک سیالات قطر معادل برای سطوح غیرمدور طبق معادله زیر تعریف می‌شود:

$$D_H=\frac{4A}{P} \qquad (۴۳_۸)$$

که در معادله بالا:

A= سطح مقطع سیال

P= محیطی که سیال تر می‌کند.

اما در مبدل‌های حرارتی قطر معادلی که در محاسبات ضریب انتقال حرارت (h) استفاده می شود باز هم مثل معادله (۸ـ۴۳) است فقط با این تفاوت که P در معادله فوق محیطی است که در آن تبادل حرارت صورت می‌گیرد.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

مثال ۲: در یک مبدل حرارتی لوله‌ای متحدالمحور (Double Pipe) به قطرهای داخلی D_i و D_o قطر معادل سیالاتی و حرارتی را حساب کنید؟

حل : محاسبه قطر معادل سیالاتی:

$$A=\frac{\pi}{4}\left(D_o^2-D_i^2\right) \qquad (۴۴_۸)$$

$$P=\pi\left(D_o+D_i\right) \qquad (۴۵_۸)$$

با جانشانی در معادله (۸ـ۴۳) داریم:

$$D_H=D_o-D_i \qquad (۴۶_۸)$$

محاسبه قطر معادل حرارتی:

$$P=\pi D_i \qquad (۴۷_۸)$$

چون انتقال حرارت فقط در محیط لوله داخلی صورت می‌گیرد، در نتیجه از معادله (۸ـ۴۳) خواهیم داشت:

$$D_H=\frac{D_o^2-D_i^2}{D_i} \qquad (۴۸_۸)$$

یعنی در محاسبات مربوط به افت فشار از معادله (۸ـ۴۶) و در محاسبات ضریب انتقال حرارت (h) از معادله (۸ـ۴۸) استفاده می‌شود.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

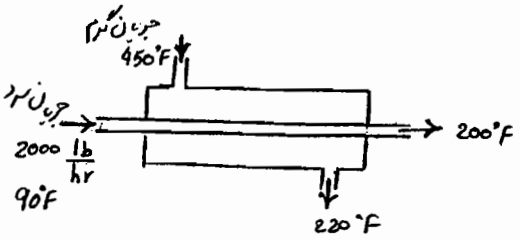
۸ـ۷ تست‌های فصل هشتم

۱ ـ مبدل حرارتی با مشخصات شکل مقابل مفروض است. میزان حرارت انتقال یافته را محاسبه کنید در صورتی‌که:

$C_p=0.60\frac{Btu}{lb.^\circ F}$ (جریان گرم)، $C_p=0.56\frac{Btu}{lb.^\circ F}$ (جریان سرد)، U_o (کل)$=80\frac{Btu}{hr}$

۱) $132000\frac{Btu}{hr}$ ۲) $22400\frac{Btu}{hr}$

۳) $123200\frac{Btu}{hr}$ ۴) $25700\frac{Btu}{hr}$



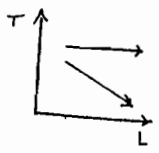
۲ ـ در چگالنده‌های پوسته و لوله، با چگالش در سمت پوسته برای افزایش مقدار حرارت انتقال یافته در واحد زمان بهتر است:

۱) تعداد بافل‌ها زیاد گردد.
۲) تعداد گذر لوله‌ها افزایش یابد.
۳) برش بافل‌ها کم شود.
۴) چگالنده عمودی نصب شود.

۳ ـ در یک مبدل حرارتی هوای خنک Air – Cooler پره‌دار برای سرد کردن گازوییل داغ چگونه می‌توان انتقال حرارت را بیشتر کرد؟

۱) تعداد گذر سمت لوله دو برابر شود ولی دبی و سطح انتقال حرارت نیز ثابت بمانند.
۲) سرعت هوا را دو برابر کرد.
۳) نوع پره را از پروفیل مثلثی به مستطیلی تغییر داد.
۴) سطح درون لوله‌ها را شیاردار کرد.

۴ ـ در یک مبدل حرارتی در لوله‌ای با جریان همسو، نمودار تغییر دمای دو سیال در طول مبدل به صورت شکل روبرو است. نوع مبدل چیست؟



۱) پیش‌گرم‌کن هوا
۲) چگالنده
۳) جوش‌آور
۴) هیچ‌کدام

۵ ـ آب در یک مبدل از نوع پوسته و لوله با جرم مخصوص $\rho=1000\frac{kg}{m^3}$ **و دبی** $3.783\frac{kg}{s}$ **از دمای** $37.78^\circ C$ **به دمای** $54.44^\circ C$ **می‌رسد. اگر ضریب کلی انتقال حرارت** $1500\frac{W}{m^{2\circ}C}$ **و سرعت متوسط آب در لوله‌ها** $0.366\frac{m}{s}$ **و قطر لوله‌ها** $1.905cm$ **باشد، تعداد لوله‌ها برابر است با:**

۱) 18 ۲) 20 ۳) 36 ۴) 12

۶ ـ در یک مبدل حرارتی سیالی در درون لوله جریان می‌یابد که:

۱) گرم باشد و خاصیت زنگ‌زدگی نداشته باشد.
۲) سرد باشد و خاصیت زنگ‌زدگی نداشته باشد.
۳) ویسکوزیته آن بالاتر باشد.
۴) باعث زنگ‌زدن شود.

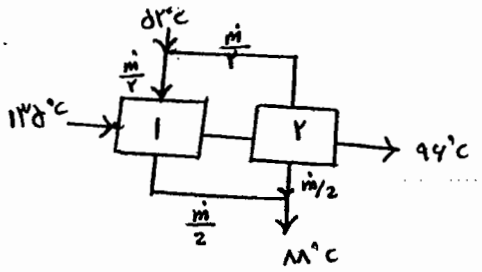
پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۷ ـ در شرایط عملیاتی کاملاً یکسان مقدار انتقال حرارت در یک مبدل حرارتی کاملاً تمیز حدود 10% بیشتر از حالتی است که مبدل شش ماه کار کرده و لوله‌های آن رسوب گرفته باشد. اگر ضریب کلی انتقال حرارت در مبدل تمیز برابر $100\frac{W}{m^{2}\,^{\circ}C}$ باشد، فاکتور رسوب برابر است با:

۱) $0.0001\frac{m^{2}\,^{\circ}C}{W}$ ۲) $0.001\frac{m^{2}\,^{\circ}C}{W}$ ۳) $0.01\frac{m^{2}\,^{\circ}C}{W}$ ۴) $0.1\frac{m^{2}\,^{\circ}C}{W}$

۸ ـ در شکل زیر مبدل‌ها از نوع لوله متحدالمحور با سطح مساوی و ضرایب کلی انتقال مساوی $(U_1=U_2)$ و دبی‌های کاملاً مساوی دارای دماهای نشان داده شده هستند. مقدار (LMTD) چقدر است؟ (فرض کنید گرم C_p= سرد C_p)



۱) $(\dot{L}MTD)_{\text{کل}}=LMTD_1+LMTD_2$

۲) $(LMTD)_{\text{کل}}=(LMTD)_1=(LMTD)_2$

۳) $(LMTD)_{\text{کل}}=\frac{1}{2}(LMTD_1+LMTD_2)$

۴) $LMTD_1<LMTD_{\text{کل}}<LMTD_2$

۹ ـ در آرایش مثلثی لوله‌ها (Triangular Pitch) در طراحی مبدل‌ها افت فشار ..... و انتقال حرارت ..... می‌یابد.

۱) افزایش ـ افزایش ۲) افزایش ـ کاهش ۳) کاهش ـ افزایش ۴) کاهش ـ کاهش

۱۰ ـ روغن موتور با دمای ورودی $40^{\circ}C$ و دبی $0.05\frac{kg}{s}$ درون لوله‌ای مسی با قطر $2.5cm$ جریان دارد. لوله به وسیله بخار اطراف آن در دمای ثابت $100^{\circ}C$ نگهداری می‌شود. طول موردنیاز لوله در شرایطی که بخواهیم روغن را تا $80^{\circ}C$ گرم کنیم چقدر است؟

(ضریب انتقال حرارت داخل لوله $18\frac{W}{m^{2}\,^{\circ}K}$ حرارت ویژه روغن $2\frac{kj}{kg^{\circ}K}$ و مقاومت حرارتی لوله قابل اغماض است.)

۱) 70 متر ۲) 80 متر ۳) 35 متر ۴) 40 متر

۱۱ ـ از یک مبدل حرارتی ساده برای گرم کردن مایعی استفاده می‌شود، مایع سرد از $135^{\circ}F$ به $220^{\circ}F$ گرم می‌شود. در حالی که مایع گرم از $245^{\circ}F$ به $225^{\circ}F$ سرد می‌شود. تقریباً چند درصد ازدیاد سطح لازم است تا دو جریان به صورت موازی حرکت کنند؟

۱) %33 ۲) %50 ۳) %28 ۴) ازدیاد سطح لازم نیست.

۱۲ ـ ضریب تصحیح F در روش LMTD برای عمل جوشش و چگالش چقدر است؟

۱) $\frac{Q}{UA\Delta T_m}$ ۲) $\frac{UA\Delta T_m}{Q}$ ۳) 1 ۴) $\frac{Q}{Q_{max}}$

۱۳ ـ در یک مبدل حرارتی در حال کار برای ازدیاد تبادل حرارتی سعی می‌شود:

۱) عدد Re را زیاد می‌کنیم. ۲) عدد Re , Pr را زیاد کنیم.

۳) عدد Re , Gr را زیاد کنیم. ۴) عدد Re را کم کنیم.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۸ـ۸ پاسخ تست‌های فصل هشتم

۱ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$Q=\dot{m}_c C_{pc}\left(T_{co}-T_{ci}\right)=2000\times0.56\times(200-90)=123200\frac{Btu}{hr}$$

۲ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

چون در پوسته، چگالش اتفاق می‌افتد پس ضریب انتقال حرارت پوسته، بالاست یعنی مقاومت کنترل کننده انتقال حرارت درون لوله قرار دارد. در نتیجه باید تغییرات در جهت کاهش مقاومت سمت لوله اعمال شود از این‌رو گزینه‌های ۱ و ۲ که موجب افزایش ضریب انتقال حرارت در پوسته (به دلیل ازدیاد افت فشار در پوسته) می‌شوند اثر چندانی بر ضریب کلی انتقال حرارت ندارند. افزایش عدهٔ پاس لوله‌ها هم اثری بر ضریب کلی انتقال حرارت ندارد. در نتیجه با عمود نصب کردن کندانسور، افت فشار سمت لوله افزایش یافته و متناظر با آن ضریب انتقال حرارت سمت لوله افزایش می‌یابد و متعاقب آن ضریب کلی انتقال حرارت افزایش می‌یابد.

۳ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

در مبدل‌های هوای خنک چون ضریب انتقال حرارت هوا پایین است پس مقاومت اصلی در مقابل انتقال حرارت مربوط به هوا می‌شود. گزینه‌های ۱ و ۴ به ضریب انتقال حرارت گازوییل مربوط می‌شوند، در نتیجه اهمیت ندارند. شکل پره هم اثر قابل ملاحظه‌ای بر ضریب انتقال حرارت ندارد. اما دو برابر کردن سرعت هوا سبب افزایش ضریب انتقال حرارت هوا و در نتیجه کاهش مقاومت کنترلی انتقال حرارت می‌شود.

۴ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

سیال سرد با کاهش دما سبب جوش آمدن سیال گرم در دمای بالا شده است و این از حیث ترمودینامیکی غیرممکن است یعنی نمی‌توان با سیال سرد سیال گرمی را در دمایی بالاتر از دمای سیال سرد به جوش آورد.

۵ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$\dot{m}=\rho u\left(n\pi\frac{D^2}{4}\right)$$

$$3.78=1000\times0.366\times n\times\frac{\pi\times0.01905^2}{4}\quad\Rightarrow\quad n=36$$

۶ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

۷ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$(۲ـ۸)\quad\rightarrow\quad R_f=\frac{1}{90.9}-\frac{1}{100}=0.001\frac{m^2\,^\circ C}{W}$$

۸ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$Q_{\text{کل}}=Q_1+Q_2$$

$$uA_{\text{کل}}(LMTD)_{\text{کل}}=uA_1(LMTD)_1+uA_2(LMTD)_2$$

$$u_{\text{کل}}=u_1=u_2$$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

$A_1 = A_2 = \frac{1}{2} A_{کل}$

پس: $(LMTD)_{کل} = \frac{1}{2}\left[LMTD_1 + LMTD_2\right]$

۹ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

در آرایش مثلثی افت فشار و ضریب انتقال حرارت افزایش می‌یابند ولی برای سیالات رسوب‌زا مشکل تمیز کردن به روش مکانیکی دارد.

۱۰ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$(۱۲۹_۵) \quad \rightarrow \quad \frac{100-80}{100-40} = \exp\left[-\frac{18\times\pi\times 0.025}{0.05\times 2000}\times L\right]$$

$$L = 78\,m \simeq 80\,m$$

۱۱ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$(۲۰_۸) \quad \rightarrow \quad A_{PF}\times\frac{(245-135)-(225-220)}{Ln\frac{245-135}{225-220}} = A_{CF}\times\frac{(225-135)-(245-220)}{Ln\frac{225-135}{245-220}}$$

$$A_{PF}\times 34 = A_{CF}\times 50.7$$

$$\frac{A_{PF}}{A_{CF}} = 1.49 \quad \rightarrow \quad \text{درصد ازدیاد سطح} = \frac{A_{PF}-A_{CF}}{A_{CF}}\times 100 = \left(\frac{A_{PF}}{A_{CF}} - 1\right)\times 100 = 49$$

یعنی حدود 49 درصد افزایش سطح لازم است.

۱۲ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

۱۳ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

فصل نهم

آزمون‌های کلی

۹ـ۱ سوالات آزمون ۸۲

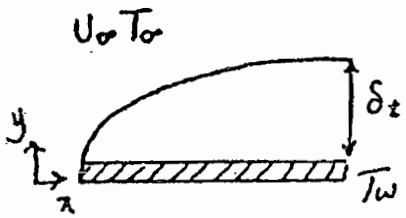
۱ـ در یک مبدل حرارتی آب بوسیله بخار فوق اشباع در حال جوشش است. مقاومت کنترل کننده حرارت:

۱) آب در حال جوش می‌باشد
۲) بخار فوق اشباع می‌شود
۳) دیواره تماس دو سیال می‌باشد
۴) مقاومت‌های حرارتی تقریباً برابر هستند

۲ـ هوا با سرعت $0.4 \frac{m}{s}$ و دمای $120^\circ C$ از روی یک سطح صاف مستطیلی شکل به طول $50\ cm$ (در امتداد جریان) عبور داده می‌شود. اگر از ابتدای صفحه یک شار حرارتی $600 \frac{W}{m}$ به صفحه وارد شود، می‌توان گفت که ماکزیمم درجه حرارت صفحه:

۱) در انتهای صفحه است.
۲) اگر جریان در داخل صفحه به حالت آشفته برسد در انتهای صفحه است.
۳) بدون داشتن عمق صفحه نمی‌توان محل ماکزیمم درجه حرارت صفحه را تعیین نمود.
۴) در فاصله‌ای از شروع صفحه است که پس از آن رژیم جریان از حالت آرام به حالت انتقالی یا آشفته تبدیل می‌شود.

۳ـ کدام‌یک از شرایط مرزی داده شده برای لایه مرزی حرارتی صادق است؟

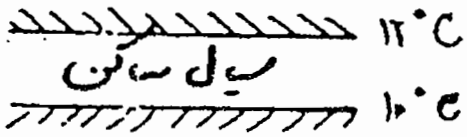


۱) $y = 0 \quad T = 0$
۲) $y = 0 \quad T = T\infty$
۳) $y = 0 \quad \frac{\partial T}{\partial y} = 0$
۴) $y = 0 \quad \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۴ ـ اگر دمای صفحات افقی مطابق شکل نشان داده شده باشد و فاصله صفحات زیاد نباشد، مکانیزم اصلی انتقال حرارت بین دو صفحهٔ نشان داده شده:



۱) هدایت می‌باشد.

۲) تشعشع می‌باشد.

۳) جابجایی طبیعی می‌باشد.

۴ جابجایی اجباری می‌باشد.

۵ ـ در حرکت آرام توأم با انتقال حرارت سیال در داخل یک کانال در حالت کاملاً توسعه یافته عدد ناسلت تابع چه عواملی است؟ اگر عدد پکلت (Peclet) بزرگ‌تر از 100 می‌باشد؟

۱) شکل هندسی کانال و شرط مرزی حرارتی

۲) شکل هندسی کانال، شرط مرزی حرارتی و عدد رینولدز

۳) شکل هندسی کانال، شرط مرزی حرارتی و عدد پرانتل

۴) شکل هندسی کانال، شرط مرزی حرارتی، عدد پرانتل و عدد رینولدز

۶ ـ برای فلزات مذاب در حرکت توأم، با انتقال حرارت در اوایل کانال کدام‌یک از گزینه‌های زیر صحیح است؟

۱) از نظر حرارتی و هیدرودینامیکی در حال توسعه است.

۲) از نظر حرارتی و هیدرودینامیکی توسعه یافته است.

۳) از نظر حرارتی توسعه یافته و از نظر هیدرودینامیکی در حال توسعه است.

۴) از نظر هیدرودینامیکی توسعه یافته و از نظر حرارتی در حال توسعه است.

۷ ـ در جابجایی آزاد ناشی از قرار دادن یک صفحه داغ عمودی در داخل یک سیال ساکن کدام‌یک از جملات زیر صحیح است؟

۱) عدد ناسلت تابع $x^{-\frac{1}{4}}$

۲) عدد ناسلت تابع $x^{\frac{1}{4}}$ می‌باشد.

۳) عدد ناسلت تابع $x^{\frac{3}{4}}$

۴) عدد ناسلت تابع $x^{-\frac{3}{4}}$ می‌باشد.

۸ ـ سیالی با دمای T_i وراد لوله‌ای به دمای T_w می‌گردد. ضریب انتقال حرارت موضعی در مدخل لوله از مقدار آن در بخش توسعه یافته:

۱) کمتر است

۲) بیشتر است.

۳) بستگی به عدد Re دارد.

۴) بستگی به عدد Pr دارد.

۹ ـ نصب بافل در پوسته در مبدل‌های پوسته و لوله که در سمت پوسته آنها چگالش صورت می‌گیرد؟

۱) افت فشار و ضریب کلی انتقال حرارت هر دو به یک میزان افزایش می‌یابد.

۲) افت فشار و ضریب کلی انتقال حرارت هر دو کاهش می‌یابد.

۳) باعث افزایش افت فشار و کاهش ضریب کلی انتقال حرارت می‌گردد.

۴) باعث افزایش افت فشار می‌شود اما بر روی انتقال حرارت تأثیر قابل ملاحظه‌ای ندارد.

۱۰ ـ از یک مبادله کن ساده حرارتی دو لوله‌ای با جریان ناهمسو برای گرم کردن یک مایع استفاده می‌شود مایع سرد از دما $135^\circ F$ تا $220^\circ F$ گرم می‌شود، در حالی که مایع گرم $245^\circ F$ تا $225^\circ F$ سرد می‌شود. محاسبه کنید چند درصد ازدیاد سطح لازم است هرگاه دو جریان به صورت همسو بجای اینکه به صورت ناهمسو باشد حرکت نماید؟

۱) 0.0%

۲) 28.41%

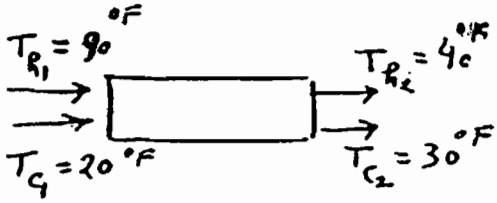
۳) 33.06%

۴) 49.52%

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

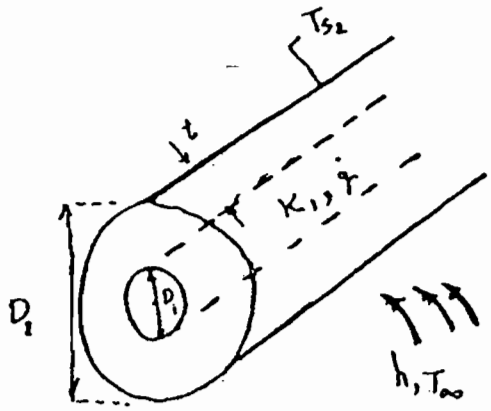
پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۱۱ ـ راندمان حرارتی سیال گرما کننده یک مبدل حرارتی به صورت زیر چقدر است؟



۱) 0.60
۲) 0.64
۳) 0.71
۴) 0.85

۱۲ ـ یک میلهٔ استوانه‌ای طویل و توپر به قطر 15 cm و ضریب هدایت $1\frac{W}{m.k}$ در داخل آن حرارتی به طور یکنواخت به مقدار $30000\frac{W}{m^3}$ تولید می‌شود. این میله داخل یک پوشش استوانه‌ای به ضخامت 200 mm و ضریب هدایت $5\ \frac{W}{m.k}$ قرار دارد سطح خارجی عایق در معرض جریان هوا با دمای $25^{\circ}C$ و ضریب جابجایی $30\ \frac{W}{m^2.k}$ قرار دارد. مطلوبست: دمای سطح خارجی عایق



۱) $35^{\circ}C$
۲) $40^{\circ}C$
۳) $45^{\circ}C$
۴) $50^{\circ}C$

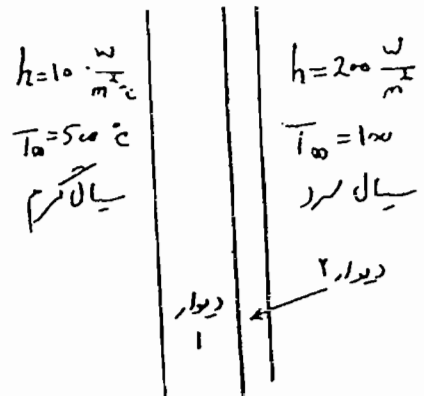
۱۳ ـ دیواری است به ضخامت 2L، دما در $x = 0$ برابر $95^{\circ}C$ در $x = L$ برابر $62^{\circ}C$ و در $x = 2L$ برابر $35^{\circ}C$ است. کدام‌یک از موارد زیر صحیح است؟

۱) ضریب رسانش دیوار مستقل از دما است.
۲) ضریب رسانش دیوار مستقل از زمان است.
۳) ضریب رسانش دیوار با افزایش دما کم می‌شود.
۴) ضریب رسانش دیوار با افزایش دما زیاد می‌شود.

۱۴ ـ در رابطه با عایق‌بندی یک لوله به شعاع، خارجی R کدام‌یک از جملات زیر صحیح است؟

۱) شعاع بحرانی عایق فقط وابسته به جنس لوله می‌باشد.
۲) شعاع بحرانی عایق‌بندی فقط وابسته به جنس عایق و جنس لوله می‌باشد.
۳) شعاع بحرانی عایق‌بندی فقط وابسته به جنس لوله و ضریب حرارت جابجایی هوای اطراف می‌باشد.
۴) شعاع بحرانی عایق‌بندی فقط وابسته به جنس عایق و ضریب حرارت جابجایی هوای اطراف می‌باشد.

۱۵ ـ در شکل نشان داده شده مقاومت تعیین کننده در انتقال حرارت کدام است؟



۱) دیوار 1
۲) دیوار 2
۳) سیال گرم
۴) سیال سرد

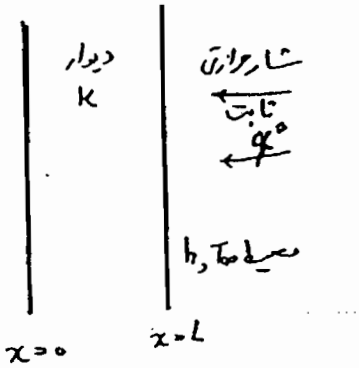
پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۱۶ ـ دیوار مسطحی به ضخامت 20 cm و دماهای سطوح $20^\circ C$ و $200^\circ C$ مفروض است. چنانچه ضریب هدایت دیوار با رابطهٔ $K = 0.3\left(1+10^{-3}T\right)$ داده شده باشد (T برحسب $^\circ C$ و K برحسب $\frac{W}{m.k}$) شار انتقال حرارت از دیوار را بر حسب $\frac{W}{m^2}$ حساب کنید؟

۱) 100 ۲) 200 ۳) 300 ۴) 400

۱۷ ـ با توجه به شکل، شرط مرزی برای $x = L$ چگونه است؟



۱) $q'' - K\frac{dT}{dx} + h\left(T + T_\infty\right) = 0$

۲) $q'' - K\frac{dT}{dx} - h\left(T - T_\infty\right) = 0$

۳) $q'' + K\frac{dT}{dx} - h\left(T - T_\infty\right) = 0$

۴) $q'' + K\frac{dT}{dx} + h\left(T - T_\infty\right) = 0$

۱۸ ـ ضریب شکل تابشی سطح جانبی داخلی استوانه نسبت به خودش در صورتی که ضریب شکل دو قاعده نسبت به هم برابر 0.2 باشد. چقدر است (قطر و طول استوانه با هم مساوی هستند)

۱) 0.8 ۲) 0.6 ۳) 0.3 ۴) 0.1

۱۹ ـ نیمی از سطح داخلی یک کره در دمای 500 K و نیمه دوم در دمای 300 K است. میزان ضرایب نشر به ترتیب 1.0 و 0.8 است. میزان خالص انتقال حرارت تابشی چقدر است؟ ($\sigma = 5.667\times10^{-8}\ \frac{W}{m^2k^2}$) قطر داخلی کره 40 cm است؟

۱) 310 W ۲) 210 W ۳) 160 w ۴) 410 w

۲۰ ـ دو صفحه سیاه و بی‌نهایت بزرگ در دمای T_2, T_1 و به فاصله 0.5 متر از هم قرار دارند و به مقدار q تبادل حرارت به صورت تشعشع می‌نماید. اگر فاصله دو صفحه 10 برابر شود مقدار q در شرایط جدید:

۱) با مقدار اولیه برابر است. ۲) 10 برابر مقدار اولیه است. ۳) $\frac{1}{10}$ مقدار اولیه است. ۴) $\frac{1}{100}$ مقدار اولیه است.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۹ـ۲ پاسخ سؤالات آزمون ۸۲

۱ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

۲ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

در حالت شار ثابت، دمای دیواره در طول صفحه افزایش می‌یابد. چون $q'' = h\left(T_w - T_\infty\right)$

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

q'' = ثابت

لذا $\left(T_w - T_\infty\right)$ متناسب با $\sqrt{x}$ افزایش می‌یابد.

۳ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

رجوع شود به معادلات (5-42) تا (5-45)

۴ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

چون سیال گرم بالای سیال سرد قرار گرفته است لذا جابجایی آزاد هم نداریم. در دماهای پایین تابش هم اهمیت ندارد.

۵ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

در جریان آرام توسعه یافته عدد ناسلت عدد ثابتی است که فقط تابع شکل هندسی کانال $\left(D_H\right)$، شرایط مرزی حرارتی (ثابت T_W یا ثابت $q'' =$) می‌باشد. اگر جریان در هم بود Re و Pr هم نقش داشتند. اگر توسعه نیافته بود عدد گراتس معکوس $\left(G_z^{-1}\right)$ نقش داشت.

۶ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

در فلزات مایع $pr << 1$ است لذا $\delta_t > \delta$ در نتیجه جریان ابتدا از لحاظ حرارتی سپس از لحاظ سیالاتی توسعه می‌یابد.

۷ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$\left.\begin{array}{l} Nu \sim Gr^{\frac{1}{4}} \\ Gr \sim x^3 \end{array}\right\} \rightarrow \quad Nu \sim x^{\frac{3}{4}}$$

۸ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

در ناحیه توسعه نیافته (ناحیه ورودی لوله) متناسب با افزایش ضخامت لایه مرزی h کاهش می‌یابد تا به مقدار ثابتی در ناحیه توسعه یافته برسد.

۹ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

نصب بافل باعث ازدیاد h پوسته و ΔP پوسته می‌شود. اما از آنجایی که h پوسته به دلیل چگالش عدد بسیار بزرگی است لذا مقاومت حرارتی سیال پوسته ناچیز است. بنابراین ازدیاد h پوسته اثر قابل ملاحظه‌ای در ضریب کلی انتقال حرارت u و میزان انتقال حرارت ندارد.

$$u = \frac{1}{\frac{r_o}{r_i}\frac{1}{h_i} + \frac{r_o}{K} Ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right) + \frac{1}{h_o}}$$

در پوسته چگالش داریم $\rightarrow \quad h_o =$ بسیار بزرگ $\rightarrow \quad \frac{1}{h_o} \sim 0$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۱۰ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

رجوع شود به سوال ۱۱ انتهای فصل ۸

۱۱ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$\Delta T_h = 90-40 = 50$$
$$\Delta T_C = 30-20 = 10$$
$$\Delta T_n > \Delta T_c \quad \rightarrow \quad \left(\dot{m}C_p\right)_h < \left(\dot{m}C_p\right)_c$$

لذا سیال گرم سیال min است. بنابراین

$$\varepsilon = \frac{T_{hi}-T_{ho}}{T_{hi}-T_{ci}} = \frac{90-40}{90-20} = 0.71$$

۱۲ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$\dot{q}\times\frac{\pi D_1^2}{4}L = h\left(\pi D_2 L\right)\left(T_{s2}-T_\infty\right)$$

$$T_{s2} = T_\infty + \frac{\dot{q}D_1^2}{4D_2 h} \quad \Rightarrow \quad T_{s2} = 25+\frac{30000\times 0.15^2}{4\times(0.15+2\times 0.2)\times 20} = 40$$

۱۳ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$T_{x=L} < \frac{T_{x=0}+T_{x=2L}}{2}$$
$$62 < \frac{35+95}{2}$$
$$62 < 65$$

با توجه به شکل‌های (۲-۱)، (۲-۲) و (۲-۳)

I) اگر K تابعی صعودی از دما باشد دمای وسط دیواره از متوسط دمای طرفین دیواره بزرگ‌تر است.

II) اگر K تابعی نزولی از دما باشد دمای وسط دیواره از متوسط دمای طرفین کوچک‌تر است.

III) اگر K مستقل از دما باشد دمای وسط دیواره برابر متوسط دمای طرفین دیواره است.

۱۴ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$r_{cr} = \frac{K}{h}$$

۱۵ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$\text{مقاومت دیواره } 1 = \frac{L_1}{K_1} = \frac{0.1}{0.1} = 1$$

$$\text{مقاومت سیال گرم} = \frac{1}{h} = \frac{1}{10}$$

$$\text{مقاومت سیال سرد} = \frac{1}{h} = \frac{1}{200} = 0.005$$

$$\text{مقاومت دیوار } 2 = \frac{L_2}{K_2} = \frac{0.02}{50} = 0.0004$$

کلیه مقاومت‌ها به ازای واحد سطح محاسبه شده‌اند $\left(A = 1m^2\right)$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۱۶ ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

با توجه به معادله (۲-۱۱) داریم: $\frac{Q}{A}=\frac{K_o}{L}\left[\left(T_1-T_2\right)+\frac{b}{2}\left(T_1^2-T_2^2\right)\right]=\frac{0.3}{0.2}\left[\left(200-20\right)+\frac{10^{-3}}{2}\left(200^2-20^2\right)\right]=300\ \frac{W}{m^2}$

۱۷ ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

جمع جبری کلیه حرارت‌های ورودی به سطح $x=L$ را برابر صفر قرار می‌دهیم: $\sum Q_i=0$

$$q''+h\left(T_\infty-T\right)+\left[-k\frac{\partial T}{\partial x}\right]=0$$

$$q''-k\frac{\partial T}{\partial x}-h\left(T-T_\infty\right)=0$$

۱۸ ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

قاعده‌های استوانه را با شماره ۱ و۲ و سطح جانبی استوانه را با شماره ۳ نشان می‌دهیم:

$F_{12}=0.2$ (طبق صورت مسئله)

$F_{33}=?$ (خواسته مسئله)

بنابراین: $F_{33}=1-\left(F_{31}+F_{32}\right)$

$F_{31}=F_{32}$ (به علت تقارن)

لذا: $F_{33}=1-2F_{31}$

$$F_{31}=\frac{A_1}{A_3}F_{13}=\frac{\frac{\pi D^2}{4}}{\pi DL}F_{13}$$

$$L=D\ \rightarrow\ F_{31}=\frac{1}{4}F_{13}$$

$$F_{13}=1-\left(F_{11}+F_{12}\right)$$

$F_{11}=0$ (سطح ۱ تخت است)

$F_{12}=0.2$ (صورت مسئله)

بنابراین: $F_{13}=0.8\ \rightarrow\ F_{31}=0.2\ \rightarrow\ F_{33}=0.6$

۱۹ ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

دو نیمهٔ این کره را با شماره‌های ۱ و۲ نام‌گذاری می‌کنیم: $\varepsilon_1=1\ ,\ \varepsilon_2=0.8\ ,\ T_1=500^\circ k\ ,\ T_2=300^\circ k$

$F_{12}=\frac{1}{2}$ (اثبات به عهده خواننده)

$$A_1=A_2=\frac{1}{2}\left(4\pi R^2\right)=2\pi\left(0.2\right)^2=0.08\pi$$

با جایگزینی مقادیر فوق در معادله (۷-۳۸) داریم:

$$Q=\frac{5.67\times10^{-8}\left(500^4-300^4\right)}{\frac{1-1}{1\times0.08\pi}+\frac{1}{0.08\pi\times\frac{1}{2}}+\frac{1-0.8}{0.8\times0.08\pi}}=310\,w$$

۲۰ ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

رجوع شود به سوال ۱۵ فصل ۷

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۹ـ۳ سؤالات آزمون ۸۳

۱ـ برای یک استوانه محدود مدفون در عمق D از زمین، ضریب شکلی (Shape factor) به صورت $\frac{2\pi L}{\ln\left(\frac{2D}{r}\right)}$ تعریف می‌شود (L طول استوانه و r شعاع استوانه است) اگر دمای سطح زمین T_1 و دمای سطح استوانه T_2 باشد، میزان انتقال حرارت حالت پایا کدام است؟

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

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

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

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

۲ـ ضخامت بحرانی عایق در لوله‌ها به چه دلیلی بیان می‌شود؟

۱) افزایش ضخامت عایق موجب ازدیاد سطح و افزایش انتقال حرارت می‌شود.

۲) ضخامت بحرانی بر اساس حداکثر کردن افت حرارتی لوله‌ای با عایق استوانه‌ای به دست می‌آید.

۳) افزایش ضخامت عایق بیشتر از شعاع بحرانی موجب افزایش هزینه خرید عایق و کاهش انتقال حرارت

۴) این مسأله فقط در مورد عایق الکتریکی معنی دارد و در مورد عایق حرارتی قطر بهینه بی‌معنی است.

۳ـ سه پره (A,B,C) یا طول محدود و ابعاد کاملاً مساوی به دیواری با دمای پایه ثابت $100^\circ C$ اتصال دارند و حرارت را به هوا با دمای $25^\circ C$ انتقال می‌دهند. دمای انتهای کدام پره بزرگ‌تر است؟ $\left(k_A>k_B>k_C\right)$

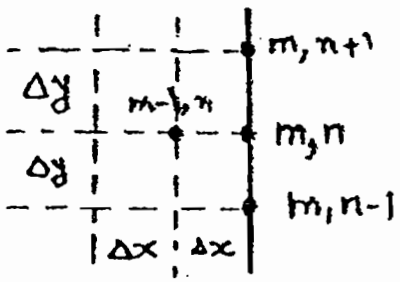
۱) پره A

۲) پره B

۳) پره C

۴) دمای انتهای هر سه پره مساویست

۴ـ در حل عددی انتقال حرکت پایا برای گرهٔ عایق‌بندی شده $\left(T_{m,n}\right)$ داریم:



۱) $T_{m,n+1}+T_{m,n-1}-T_{m-1,n}-T_{m,n}=0$

۲) $T_{m,n+1}-T_{m,n-1}+T_{m-1,n}-T_{m,n}=0$

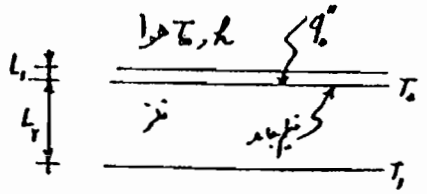
۳) $T_{m,n+1}+2T_{m,n-1}+2T_{m-1,n}+T_{m,n}=0$

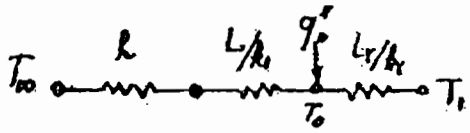
۴) $T_{m,n+1}+T_{m,n-1}+2T_{m-1,n}-4T_{m,n}=0$

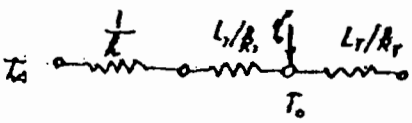
پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

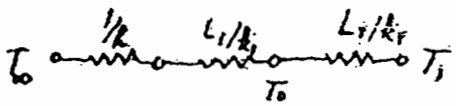
پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

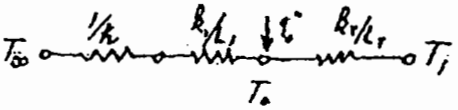
۵ ـ در شکل زیر شار حرارتی q''_0 به صورت تشعشع به سطح نشانداده شده برخورد کرده و جذب می‌شود و دمای سطح را در T_0 ثابت نگهدارید. مدار معادل حرارتی در شرایط پایا به صورت کدام‌یک از گزینه‌های زیر خواهد بود؟



۱)


۲)


۳)


۴)


۶ ـ کدام‌یک از تعابیر زیر برای تئوری ظرفیت حرارتی متمرکز (Lumped heat Capacity) صادق است؟

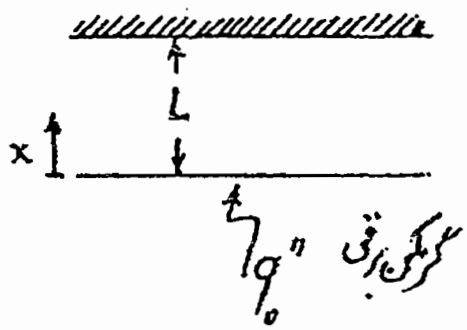
۱) مقاومت هدایتی و مقاومت جابجایی آن بسیار زیاد است.

۲) مقاومت هدایتی جسم نسبت به مقاومت جابجایی آن بسیار زیاد می‌باشد.

۳) مقاومت هدایتی جسم در مقایسه با مقاومت جابجایی قابل اغماض است.

۴) نرخ تبادل حرارت صفر و به طور کامل انتقال حرارت از جسم به محیط صورت نمی‌گیرد.

۷ ـ یک سیستم یک بعدی با خواص فیزیکی ثابت در دمای اولیه T_i قرار دارد و ناگهان در تماس با یک گرمکن برقی قرار گرفته و شار حرارتی q''_0 در سطح پایینی ایجاد می‌گردد. معادلهٔ دیفرانسیل مربوط به دما و شرایط مرزی و اولیه به صورت کدام‌یک از جواب‌های زیر خواهد بود؟



۱) $\dfrac{\partial^2 T}{\partial x^2} = -\dfrac{1}{\alpha}\dfrac{\partial T}{\partial \tau}$; I.C. $\tau = 0 \quad T = T_i$; B.Cs $x = 0 \quad q''_0 = k\dfrac{\partial T}{\partial x}$; $x = L \quad \dfrac{\partial T}{\partial x} = 0$

۲) $\dfrac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \dfrac{1}{\alpha}\dfrac{\partial T}{\partial \tau}$; I.C. $\tau = 0 \quad T = T_i$; B.Cs $x = 0 \quad q''_0 = -k\dfrac{\partial T}{\partial x}$; $x = L \quad \dfrac{\partial T}{\partial x} = 0$

۳) $\dfrac{\partial^2 T}{\partial x^2} + q'/k = \dfrac{-1}{\alpha}\dfrac{\partial T}{\partial \tau}$; I.C. $\tau = 0 \quad T = T_i$; B.Cs $x = 0 \quad T = T_0$; $x = L \quad \dfrac{\partial T}{\partial x} = 0$

۴) $\dfrac{\partial^2 T}{\partial x^2} + q'/k = \dfrac{1}{\alpha}\dfrac{\partial T}{\partial \tau}$; I.C. $\tau = 0 \quad T = T_i$; B.Cs $x = 0 \quad q''_0 = -k\dfrac{\partial T}{\partial x}$; $x = L \quad \dfrac{\partial T}{\partial x} = 0$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۸ ـ در حرکت و گرم شدن مایعات جاری در داخل لوله اثر تغییرات ویسکوزیته با دما روی عدد ناسلت چیست؟

۱) سبب افزایش عدد ناسلت می‌گردد.

۲) سبب کاهش عدد ناسلت می‌گردد.

۳) تاثیری روی عدد ناسلت ندارد

۴) بسته به نوع سیال می‌تواند سبب کاهش و یا افزایش عدد ناسلت گردد.

۹ ـ اگر در یک مبدل پوسته و لوله‌ای $U = a + b\Delta T$ باشد که ΔT اختلاف دمای بین دو سیال و زیرنویس‌های 1 و 2 برای دو انتهای مبدل در نظر گرفته شود عبارت LMTD در چنین مبدلی برابر کدام گزینه است؟

۱) $\frac{1}{2}\left(U_1 + U_2\right)LMTD$

۲) $\frac{1}{2}\left(LMTD_1 + LMTD_2\right)$

۳) $\left(U_1\Delta T_2 - U_2\Delta T_1\right)/\ln\frac{U_1\Delta T_2}{U_2\Delta T_1}$

۴) $\left(U_1\Delta T_1 - U_2\Delta T_2\right)/\ln\frac{U_1\Delta T_1}{U_2\Delta T_2}$

۱۰ ـ جهت گرمتر نگه داشتن چای در فلاسک کدام پیشنهاد مؤثرتر است؟

۱) کم کردن فاصله دو جداره

۲) انتخاب شیشه از جنس پیرکس

۳) خلاء بیشتر فضای بین دو جداره

۴) تعبیه یک فویل آلومینیومی در فضای بین دو جداره

۱۱ ـ دو صفحه موازی A به مساحت 1.6 متر مربع و B به مساحت 2.9 متر مربع مفروض هستند. ضریب دید صفحهٔ A به B برابر 0.6 می‌باشد. مقاومت فضایی بین این دو صفحه به صورت تقریبی برابر است با:

۱) 0.34 ۲) 0.57 ۳) 0.66 ۴) 1.04

۱۲ ـ یک بلوک یخی شبیه آجر نازک و بلندی را با یک نخ در هوای ساکن آویزان می‌کنیم. جرم آب حاصل از ذوب ناشی از کدام عوامل است:

۱) تبادل با هوا به صورت جابجایی آزاد

۲) هدایت از ورای فیلم مایع حاصل از ذوب

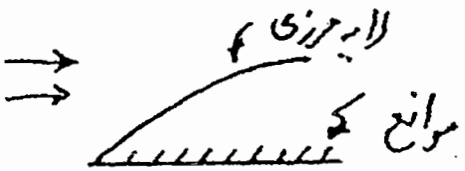
۳) جمع انتقال حرارت دو پدیده جابجایی آزاد و تابش حرارتی

۴) جمع تبادل آزاد با هوا و هدایت از ورای فیلم مایع

۱۳ ـ بخار اشباع با درجه حرارت $120^\circ C$ در لوله نازک آلومینیمی جریان دارد. لوله در معرض هوای اطاق با درجه $30^\circ C$ قرار دارد. درجه حرارت بیرون لوله به کدام درجه حرارت نزدیک‌تر است؟

۱) $30^\circ C$ ۲) $75^\circ C$ ۳) $100^\circ C$ ۴) $120^\circ C$

۱۴ ـ ایجاد موانع کوچک بر روی یک سطح صاف (مطابق شکل) باعث می‌شود که انتقال حرارت بین سطح و سیال:



۱) کم شود. ۲) زیاد شود.

۳) تأثیر نداشته باشد ۴) تنها در افت فشار تأثیر می‌گذارد.

۱۵ ـ برای انتقال نرخ جوشش آب در یک کتری، زبر کردن کف آن چه تأثیری بر نرخ انتقال حرارت دارد؟

۱) در افزایش جوشش حبابی مؤثر است.

۲) در ماکزیمم و مینیمم جوشش فیلمی هیچ تأثیری ندارد.

۳) در همه محدوده جوشش فیلمی موجب افزایش انتقال حرارت می‌شود.

۴) در جوشش فیلمی موجب افزایش و در جوشش حبابی موجب کاهش می‌شود.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۱۶ ـ شرط توسعه یافتگی حرارتی برای حرکت سیال در داخل لوله برای دمای ثابت دیواره و شار حرارتی ثابت در دیواره چیست؟

T_b دمای توده سیال و T_w دمای دیواره است و q''_0 شار حرارتی در دیواره است.

۱) برای هر دو شرط مرزی $\frac{\partial}{\partial x}\left[\frac{T_w - T}{T_b - T}\right] = 0$

۲) برای هر دو شرط مرزی $\frac{\partial}{\partial x}\left[\frac{T_w - T}{T_w - T_b}\right] = 0$

۳) برای شرط مرزی دمای ثابت در دیواره $\frac{\partial}{\partial x}\left[\frac{T_w - T}{T_w - T_b}\right]$ و برای شار حرارتی ثابت در دیواره $\frac{\partial T}{\partial x} = 0$

۴) برای شرط مرزی دمای ثابت در دیواره $\frac{\partial}{\partial x}\left[\frac{T_w - T}{T_b - T}\right] = 0$ و برای شار حرارتی ثابت در دیواره $\frac{\partial T}{\partial x} = 0$

۱۷ ـ در جریان آرام و توسعه یافته در داخل لوله با شرط مرزی دمای ثابت در دیواره در صورتی‌که عدد پکلت بزرگ $(Pe > 100)$ و x محور موازی جهت حرکت سیال باشد از کدام عبارت می‌توان صرف‌نظر کرد؟

۱) $\frac{dT}{dr}$ ۲) $\frac{d^2T}{dr^2}$ ۳) $\frac{dT}{dx}$ ۴) $\frac{d^2T}{dx^2}$

۱۸ ـ یک سیال در داخل لوله‌ای در حال حرکت گرم می‌شود. نسبت افزایش آنتالپی مایع به انتقال حرارت هدایتی در جهت حرکت سیال چیست؟

۱) عدد پراندتل ۲) عدد ناسلت ۳) عدد پکلت ۴) عدد استانتون

۱۹ ـ اگر دمای یک گاز کامل از $20^\circ C$ به دو برابر افزایش یابد تغییرات ضریب انبساط حجمی β چگونه خواهد بود؟

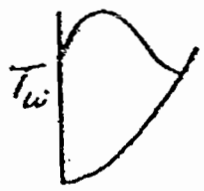
۱) کاهش می‌یابد ولی مقدار آن کمتر از نصف مقدار اولیه است.

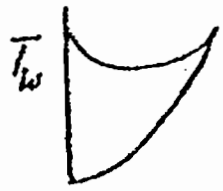
۲) کاهش می‌یابد ولی مقدار آن بیشتر از نصف مقدار اولیه است.

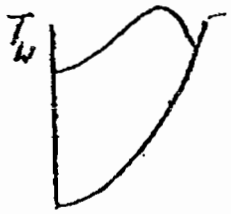
۳) کاهش می‌یابد ولی مقدار آن مساوی نصف مقدار اولیه است.

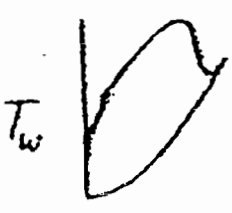
۴) افزایش می‌یابد و مقدار آن دو برابر مقدار اولیه است.

۲۰ ـ صفحه‌ای عمودی و داغ در یک سیال ساکن سرد قرار دارد. پروفیل سرعت در اثر جابجایی آزاد با کدام‌یک از اشکال زیر تطابق دارد؟

۱) 

۲) 

۳) 

۴) 

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۹ـ۴ پاسخ سوالات آزمون ۸۳

۱ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$Q = KS\Delta T$$

۲ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

۳ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

هر چه K بزرگ‌تر باشد افت دما کمتر است ($\frac{\partial T}{\partial x}$ کوچک‌تر) لذا دمای انتهای پره A بزرگ‌تر است.

۴ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

رجوع شود به معادله (۳-۱۸) و مثال ۳ فصل ۳

۵ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

چون گرمای q''_0 به سطح T_0 می‌رسد لذا بالای این سطح دو مقاومت سری $\frac{1}{h}$ و $\frac{L_1}{K_1}$ قرار می‌گیرند و در پایین این سطح یک مقاومت $\frac{L_2}{K_2}$ قرار می‌گیرد. موازنه انرژی هم به این صورت است که:

$$q''_0 = \frac{T_0 - T_\infty}{\frac{L_1}{K_1} + \frac{1}{h}} + \frac{T_0 - T_1}{\frac{L_2}{K_2}}$$

۶ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$\text{ظرفیت حرارتی متمرکز} \rightarrow \quad B_i < 0.1 \quad \rightarrow \quad \frac{hL}{K} < 0.1 \quad \rightarrow \quad \frac{\frac{L}{K}}{\frac{1}{h}} < 0.1$$

لذا مقاومت هدایتی در مقایسه با مقاومت جابجایی قابل اغماض است.

۷ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

نکته : q''_0 شرط مرزی است نه جزئی از معادله دیفرانسیل لذا:

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

$$q''_0 = -k\frac{\partial T}{\partial x} \qquad \text{در } x = 0 :$$

$$\frac{\partial T}{\partial x} = 0 \qquad \text{در } x = L :$$

۸ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

افزایش h → افزایش سرعت مایع → کاهش ویسکوزیته مایع → افزایش دمای مایع

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۹ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

با قرار دادن معادله $u = a + b\Delta T$ در معادله(۸-۱۲) و انتگرال‌گیری از آن به گزینه صحیح می‌رسیم.

۱۰ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

در فلاسک چای فاصله بین دو جدارهٔ را خلأ می‌کنند (برای کاهش هدایت و جابجایی) و در ضمن صفحات را نیز آینه‌ای می‌سازند (برای کاهش تابش). در فلاسک چای خلأ کردن باعث می‌شود میزان تبادل حرارت هدایتی و جابجایی به کمترین مقدار برسد لذا مکانیزم تابش مکانیزم غالب است. نصب فویل آلومینیومی که به عنوان یک سپر تابشی عمل می‌کند باعث کاهش میزان تبادل حرارت می‌شود.

۱۱ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$\text{مقاومت فضایی} = \frac{1}{A_1 F_{12}} = \frac{1}{1.6 \times 0.6} = 1.04$$

۱۲ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

اگر دمای محیط $25^0 C$ فرض شود:

ناشی از جابجایی $q = h\left(T_\infty - T_w\right)$

جابجایی آزاد $h \cong 5 \frac{w}{m^2 {}^\circ K}$

$T_w = 0^\circ C \, , \, T_\infty = 25^\circ C$

لذا:

$$\text{ناشی از جابجایی} \; q = 5 \times (25 - 10) = 125 \frac{w}{m^2}$$

$$q = \sigma\left(T_\infty^4 - T_w^4\right) = 5.6 \times 10^{-8}\left(298^4 - 273^4\right) = 132 \frac{w}{m^2}$$

لذا هم تابش و هم جابجایی دارای اهمیت هستند.

۱۳ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$Q = \frac{\Delta T}{R} \quad \rightarrow \quad \Delta T = R.Q$$

چون مقاومت جابجایی بخار درون لوله و نیز مقاومت هدایتی جداره آلومینیومی کم است لذا اختلاف دمای بین بخار داخل لوله و دمای سطح خارجی لوله طبق معادله بالا ناچیز خواهد شد:

$$R \rightarrow 0 \Rightarrow \Delta T \rightarrow 0 \Rightarrow T_{\infty i} - T_{so} \rightarrow 0 \Rightarrow T_{so} \rightarrow 120^\circ C$$

۱۴ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

ایجاد موانع باعث افزایش افت فشار و اصطکاک می‌شود و طبق آنالوژی باعث ازدیاد میزان تبادل حرارت می‌گردد.

۱۵ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

در ناحیه جوشش حبابی (Nucleate Boiling) زبر کردن سطح موجب افزایش میزان تبادل حرارت می‌شود. در این ناحیه تمام سطح هنوز با حباب پوشانده نشده است. اما در ناحیه جوشش فیلمی چون تمام سطح توسط یک لایه از حباب پوشانده شده است لذا زبر کردن سطح که باعث افزایش نرخ تولید حباب می‌شود اثری بر میزان انتقال حرارت ندارد.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۱۶ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

۱۷ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

در صورتی که عدد پلکه عدد بزرگی باشد می‌توان از ترم هدایت در راستای حرکت در مقایسه با ترم جابجایی صرف‌نظر کرد:

$$\alpha\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} < U_x\frac{\partial T}{\partial x}$$

طبق آنالیز مرتبه مقداری:

$$x \approx L \qquad U_x \approx u_\infty$$

$$\alpha\frac{T}{L^2} < u_\infty\frac{T}{L}$$

$$1 < \frac{u_\infty L}{\alpha}$$

$\frac{u_\infty L}{\alpha}$ همان عدد پلکه است. لذا شرط صرف‌نظر کردن از هدایت محوری آن است که pe عدد بزرگی باشد.

۱۸ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$pe = \frac{u_\infty L}{\alpha} = \frac{\rho C_p u_\infty L}{k} = \frac{\rho u_\infty A C_p \Delta T}{kA\frac{\Delta T}{L}} = \frac{\dot{m} C_p \Delta T}{kA\frac{\Delta T}{L}} = \frac{\dot{m} C_p \Delta T}{kA\frac{\Delta T}{L}}$$

ملاحظه می‌شود که پلکه نسبت افزایش آنتالپی سیال در راستای حرکت به انتقال حرارت هدایتی در راستای حرکت است.

۱۹ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$\beta = \frac{1}{T} \qquad T: \text{درجه کلوین}$$

$$t_1 = 20^\circ C\ ,\ t_2 = 40^\circ C \ \rightarrow\ \frac{\beta_2}{\beta_1} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{293}{313} = 0.94$$

$$0.5 < \frac{\beta_2}{\beta_1} < 1$$

۲۰ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

با توجه به معادله (۶-۳۲) پروفایل سرعت دارای Max است و نقطه Max آن در $y_{max} = \frac{\delta}{3}$ قرار دارد. یعنی نقطه Max به دیواره صفحه نزدیک‌تر است تا مرزلایه.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۵ـ۹ سوالات آزمون ۸۴

۱ـ در یک مبدل یک پوسته و دو گذر لوله دو آزمایش زیر انجام شده است:

الف) بخار اشباع $90^{\circ}C$ با آب $10^{\circ}C$ تبادل حرارت مطابق ضریب کلی انتقال حرارت U_1 انجام می‌دهید.

ب) همان مقدار آب $10^{\circ}C$ با آب $90^{\circ}C$ مطابق ضریب کلی انتقال حرارت U_2 گرم می‌شود. اگر ضرایب پوسته و لوله در حالت دوم با هم برابر باشند. کدام عبارت صحیح است؟ (مقاومت هدایتی جداره لوله ناچیز است.)

۱) $\varepsilon_1 = \varepsilon_2$ ۲) $U_2 \approx \frac{U_1}{2}$ ۳) $U_1 A = U_2 A$ ۴) $NTU_1 = NTU_2$

۲ـ در کوره‌ای از طریق تابش و جابجایی، سیالی که داخل لوله است گرم می‌شود. در صورتی که دبی سیال داخل لوله‌ها اضافه شود، انتقال حرارت از طریق تابش:

۱) ثابت است.

۲) کاهش پیدا می‌کند.

۳) افزایش پیدا می‌کند.

۴) بستگی به ضریب انتقال حرارت جابجایی در بیرون لوله ممکن است کاهش یا افزایش پیدا کند.

۳ـ برف تازه بر زمین نشسته از نظر تابشی چگونه جسمی است؟

۱) تقریباً سیاه است.

۲) بازتابنده ایده‌آل است.

۳) فقط در ناحیه مرئی سیاه است.

۴) جذب حرارتی تشعشعی آن ناچیز است.

۴ـ یک کاسه آب را در یک شب کویری بدون ابر و باد روی صفحه عایقی گذاشته‌ایم. آب درون ظرف بدون آنکه دمای هوا کمتر از صفر باشد یخ زده است. دلیل این امر چیست؟

۱) تبخیر عامل یخزدگی است.

۲) جابجایی آزاد دلیل یخزدگی است.

۳) آسمان بدون ابر کویری، جسم سیاهی با دمای کمتر از صفر است.

۴) ظرف که سردتر از آب می‌شود، دمای آب را به زیر صفر می‌برد.

۵ـ در یک دودکش به بلندی H و دمای هوای محیط T_∞ و دمای گاز داخل دودکش T میزان مکش طبیعی برابر ΔP است. کدام گزینه رابطه این سه پارامتر را بیان می‌کند؟

۱) $\Delta P \propto \frac{1}{T}, \frac{1}{H}$ ۲) $\Delta P \propto H, \frac{1}{T}$ ۳) $\Delta P \propto T, \frac{1}{H}$ ۴) $\Delta P \propto H, (T - T_\infty)$

۶ـ هوای محیط بر سیم داغی می‌وزد با داشتن ولتاژ و شدت جریان در چه حالتی می‌توان سرعت وزش هوا بر سیم V_∞ را محاسبه کرد؟

۱) همواره می‌توان ۲) تنها در حالت ولتاژ ثابت ۳) تنها در حالت دما ثابت ۴) رابطه‌ای وجود ندارد.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۷ ـ در مورد عایق‌های لیفی (مثل پشم شیشه) نسبت $\phi = \frac{\text{حجم هوای به تله افتاده}}{\text{حجم هوا + حجم الیاف}}$ می‌تواند معرف کیفیت عایق باشد، به ازای چه مقدار ϕ عایق بهتری داریم؟

۱) هرچه ϕ بزرگتر باشد عایق مطلوب‌تر است.

۲) هرچه ϕ کمتر باشد عایق مطلوب‌تر است.

۳) برای عایق سرماسازی ϕ کوچک و برای عایق گرما ϕ بزرگ مطلوب است.

۴) مقدار ϕ تأثیری در مطلوبیت عایق ندارد.

۸ ـ با توجه به مفهوم ضریب شکل هدایتی (shape factor) واحد آن را به دست آورید و بگویید کدام گزینه در سیستم SI درست است؟

۱) m ۲) $\frac{1}{s}$ ۳) m^2 ۴) $\frac{s}{m^2}$

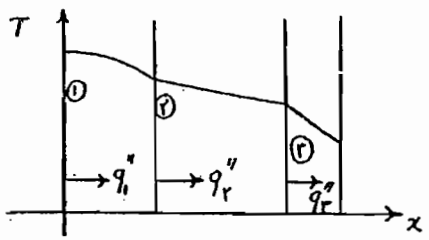
۹ ـ یک میله فلزی به شعاع 10 سانتی‌متر و طول 25 طول سانتی‌متر مفروض است. این میله از هر طرف با فلاکس ثابت $500\frac{W}{m^2}$ حرارت داده می‌شود. دمای محیط $20^\circ C$ و ضریب انتقال حرارت $40\frac{W}{m^{2\circ}C}$ می‌باشد. دمای سطح خارجی این میله برابر است با:

۱) $40^\circ C$ ۲) $35^\circ C$ ۳) $30^\circ C$ ۴) $25^\circ C$

۱۰ ـ دیواره‌ای به ضخامت L با هدایت حرارتی k_0T^2 (k_0 عدد ثابت و T دما) در دست است. اگر دو طرف آن در دمای T_1 و T_2 $(T_1 > T_2)$ باشند، میزان انتقال حرارت حالت پایا کدام است؟

۱) $q = \frac{k_0^2\left(T_1^2 - T_2^2\right)}{3L}$ ۲) $q = \frac{k_0\left(T_1^3 - T_2^2\right)}{3L}$ ۳) $q = \frac{k_0\left(T_1^3 + T_2^3\right)}{3L}$ ۴) $q = \frac{k_0\left(T_1 - T_2\right)^2}{3L}$

۱۱ ـ در شکل زیر توزیع دمای پایا در یک دیواره مرکب که از سه ماده با ضرایب هدایتی حرارتی و مساحت همسان تشکیل شده است دیده می‌شود کدام‌یک از جملات زیر q'' شار حرارتی در مرزها می‌باشد؟



۱) $q''_1 < q''_3 < q''_2$

۲) $q'_1 < q''_2 < q''_3$

۳) $q''_1 < q''_2$, $q''_3 > q''_2$

۴) $q''_1 < q''_2$, $q''_3 = q''_2$

۱۲ ـ کدام‌یک از عبارت‌های زیر صحیح است؟

۱) مقدار حرارت و شار حرارتی هر دو کمیت اسکالر هستند.

۲) مقدار حرارت و شار حرارتی هر دو کمیت برداری هستند.

۳) مقدار حرارت یک کمیت برداری ولی شار حرارتی یک کمیت اسکالر است.

۴) مقدار حرارت یک کمیت اسکالر ولی شار حرارتی یک کمیت برداری است.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۱۳ ـ دوفین داغ مسی و شیشه‌ای کاملاً مشابه در معرض هوای سرد با دمای ثابت و ضریب انتقال حرارت یکسان قرار گرفته‌اند.

گرادیان دما $\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)$ در پایه فین.

۱) در فین مسی کمتر از شیشه است.

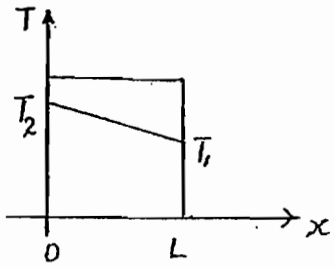
۲) در فین مسی بیشتر از شیشه است.

۳) گرادیان دما در هر دو برابر است.

۴) بستگی به ضریب انتقال حرارت ممکن است در یکی کمتر یا بیشتر باشد.

۱۴ ـ در شکل زیر گرادیان دما $\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)$ و شدت جریان حرارتی چقدر است؟

$$\left(T_1 = 400\,K\ ,\ T_2 = 600\,K\ ,\ k = 100\frac{W}{mK}\ ,\ L = 10\,cm\right)$$



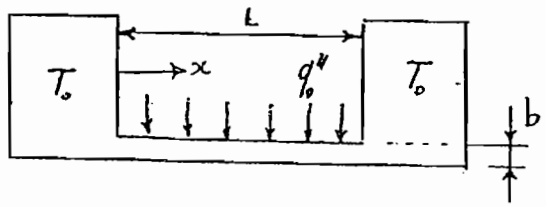
۱) $\frac{dT}{dx} = -1000\frac{k}{m}\ ,\ q''_x = 200\frac{KW}{m^2}$

۲) $\frac{dT}{dx} = -2000\frac{k}{m}\ ,\ q''_x = 200\frac{KW}{m^2}$

۳) $\frac{dT}{dx} = 2000\frac{k}{m}\ ,\ q''_x = -200\frac{KW}{m^2}$

۴) $\frac{dT}{dx} = 1000\frac{k}{m}\ ,\ q''_x = 100\frac{KW}{m^2}$

۱۵ ـ صفحه نازکی به طول L با ضخامت b و عرض W $(W \gg L)$ به دو چاه حرارتی با دمای ثابت T_0 وصل است. سطح پایین عایق کاری شده و شدت جریان خالص حرارتی q''_0 روی سطح بالایی می‌تابد. معادله دیفرانسیل و شرایط مرزی لازم را بنویسید.



۱) $T(0) = T(L) = T_0\ ,\ \frac{d^2T}{dx^2} - \frac{q''_0}{kb} = 0$

۲) $-k\frac{dT}{dx}\Big|_{x=0} = -k\frac{dT}{dx}\Big|_{x=L}\ ,\ \frac{d^2T}{dx^2} - \frac{q''_0}{kb} = 0$

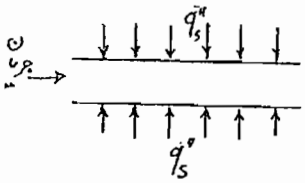
۳) $T(0) = T(L) = T_0\ ,\ \frac{d^2T}{dx^2} + \frac{q''_0}{kb} = 0$

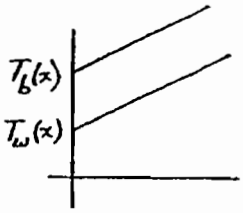
۴) $\frac{dT(0)}{dx} = \frac{dT(L)}{dx}\ ,\ \frac{d^2T}{dx^2} + \frac{q''_0}{kb} = 0$

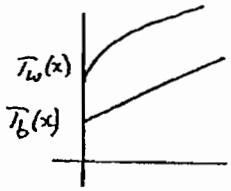
پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

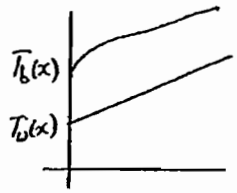
پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

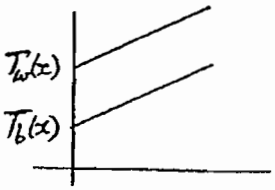
۱۶ ـ سیالی مطابق شکل بین دو دیواره با شار حرارتی ثابت گرما دریافت می‌کند. تغییرات دمای دیوار $T_w(x)$ و دمای متوسط سیال $T_b(x)$ شبیه کدام‌یک از پاسخ‌های زیر خواهد بود؟



۱)


۲)


۳)


۴)


۱۷ ـ گازی با دمای 20 درجه سانتی‌گراد از روی صفحه تختی با دمای ثابت 60 درجه سانتی‌گراد به‌صورت آرام؛حرکت می‌کند. شیب دمایی در صفحه $\left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)$ در جهت عمود بر صفحه:

۱) در ابتدای صفحه کمتر از وسط صفحه می‌باشد.

۲) در ابتدای صفحه بیشتر از وسط صفحه می‌باشد.

۳) بستگی به ضریب انتقال حرارت ممکن است بیشتر یا کمتر باشد.

۴) شیب دمایی در ابتدای صفحه برابر با شیب دمایی در وسط صفحه است.

۱۸ ـ صفحه‌ای شار ثابت حرارتی دریافت می‌کند. سیالی از روی صفحه به‌صورت آرام و پایا جریان دارد. اختلاف دما بین صفحه و سیال چگونه است؟

۱) در ابتدای صفحه بیشتر از وسط صفحه است.

۲) اختلاف دما در سراسر صفحه ثابت است.

۳) در ابتدای صفحه کمتر از وسط صفحه است.

۴) اختلاف دما بستگی به ضریب انتقال حرارت ممکن است در ابتدای صفحه بیشتر یا کمتر باشد.

۱۹ ـ یک لوله به قطر داخلی 10 سانتی‌متر با پشم شیشه عایق‌بندی شده است. در صورتی که قطر بیرونی 20 سانتی‌متر باشد و ضریب کلی انتقال حرارت بر اساس سطح داخلی U_i و بر اساس سطح خارجی U_o باشد در این لوله:

۱) U_o نصف U_i می‌باشد.

۲) U_o دو برابر U_i می‌باشد.

۳) U_o یک چهارم U_i می‌باشد.

۴) U_o برابر U_i می‌باشد.

۲۰ ـ دو لوله مشابه یکی صیقلی و دیگری زیر مفروض است. سیالی با عدد رینولدز 120000 در هر یک از این دو لوله جریان دارد. گرادیان دما در روی سطح لوله $\left(\frac{\partial T}{\partial r}\right)_w$ در شرط مرزی دما ثابت چگونه است؟

۱) در دو لوله برابر است.

۲) در لوله زیر کمتر از لوله صیقلی است.

۳) در لوله زیر بیشتر از لوله صیقلی است.

۴) بسته به سایر خواص مایع ممکن است بیشتر یا کمتر باشد.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۹ـ۶ پاسخ سوالات آزمون ۸۴

۱ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

چون مقاومت هوایی جداره صرف‌نظر شده است (طبق صورت مسئله):

$$u = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o}}$$

در حالت الف) h_i = ضریب انتقال حرارت آب 10 درجه و h_o = ضریب انتقال حرارت بخار اشباع 90 درجه است. چون h بخار اشباع در حال چگالش بسیار بزرگ است لذا:

$$u_1 = h_i$$

در حالت ب) h_i = ضریب انتقال حرارت آب 10 درجه و h_o ضریب انتقال حرارت آب 90 درجه است که طبق صورت مسئله $h_i = h_o$ است. لذا:

$$u_2 = \frac{h_i}{2}$$

بنابراین خواهیم داشت:

$$u_2 = \frac{1}{2}u_1$$

چون $NTu = \frac{uA}{C_{min}}$ و $\varepsilon = f(NTu\ ,\ C_r)$ لذا گزینه‌های ۱، ۳ و ۴ با توجه به اینکه $u_2 = \frac{1}{2}u_1$ است نمی‌توانند صحیح باشند.

۲ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$Q = \frac{\sigma\left(T_1^4 - T_w^4\right)}{R_{radiation}} = \dot{m}C_P\left(T_{m_o} - T_{m_i}\right)$$

T_{m_i} , T_{m_o}: دمای آب ورودی و خروجی — $\dot{m}$: دبی جرمی آب درون لوله‌ها

T_1 : دمای کوره — T_w : دمای سطح لوله‌ها

$R_{radiation}$: مجموع مقاومت فضایی و سطحی لوله و کوره

طبق معادله فوق ملاحظه می‌شود که ازدیاد دبی آب موجب افزایش میزان تبادل حرارت می‌شود.

۳ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

۴ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

به سوال ۱۱ فصل هفتم مراجعه شود.

۵ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$F \sim g\Delta\rho$ (نیروی بالابرنده گاز در دودکش)

$g\Delta\rho = g\beta\left(T_{gas} - T_\infty\right)$

$u_{gas} \sim \Delta T$ (سرعت گاز درون دودکش)

لذا ΔP (مکش طبیعی، افت فشار) با $\Delta T\left(\Delta T = T_{gas} - T_\infty\right)$ متناسب می‌باشد. از مبانی سیالات می‌دانیم که افت فشار با طولی لوله (H) نیز نسبت مستقیم دارد.

۶ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۷ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

چون K گازها (از جمله هوا) بسیار کوچک است هر چه حجم هوای بر تله افتاده در عایق بیشتر باشد K عایق کوچک‌تر بوده و لذا آن عایق، عایق بهتری است.

۸ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

۹ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$2q \times \pi R^2 = h(2\pi RL)(T_w - T_\infty)$$

$$2 \times 500 \times \pi \times 0.1^2 = 40 \times 2\pi \times 0.1 \times 0.25 \times (Tw - 20)$$

$$T_w = 25^\circ C$$

۱۰ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$q = \frac{-\int_{T_1}^{T_2} k dT}{\int_0^L dx} = \frac{-\int_{T_1}^{T_2} k_0 T^2 dT}{L} = \frac{k_0\left(T_1^3 - T_2^3\right)}{3L}$$

۱۱ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد. ؛

عواملی که می‌تواند باعث غیرخطی شدن توزیع دما شوند عبارتند از:

I) k وابسته به دما

II) تولید گرما در جسم $(\dot{q} \neq 0)$

III) حالت ناپایدار (unsteady)

IV) تغییر سطح در راستای انتقال (هدایت شعاعی در استوانه یا کره)

با توجه به موارد فوق و با توجه به اینکه K و A دیواره‌ها یکسان بوده و مسئله نیز steady است. لذا تنها تولید گرما می‌تواند موجب غیرخطی شدن توزیع دما در دیواره 1 شده باشد: $q''_1 A + \dot{q} AL = q''_2 A$

L : ضخامت دیواره

$$q''_2 = q''_1 + \dot{q}L \quad \rightarrow \quad q''_2 > q''_1$$

در ناحیه ۲ و ۳ که توزیع دما خطی است تولید حرارت هم نمی‌تواند وجود داشته باشد: $q''_2 A = q''_3 A \quad \rightarrow \quad q''_2 = q''_3$

اما اشکالی که در شکل صورت سوال وجود دارد این است که شیب توزیع دما در دیواره ۲ و ۳ با هم متفاوت نشان داده شده که با سایر فرضیات مسئله در تناقض خواهد بود که ایجاب می‌کنند که شیب این دو برابر باشند.

$$\left.\begin{array}{l} q''_2 = q''_3 \\ k_2 = k_3 \end{array}\right\} \quad \rightarrow \quad \left.\frac{\partial T}{\partial x}\right|_2 = \left.\frac{\partial T}{\partial x}\right|_3$$

۱۲ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

۱۳ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

هر چه k بزرگ‌تر باشد گرادیان کمتر خواهد شد $\left(q = -k\frac{\partial T}{\partial x}\right)$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۱۴ ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$q'' = -k\frac{\partial T}{\partial x} = -100 \times \frac{400-600}{0.1} = 200000\frac{w}{m^2}$$

$$\frac{\partial T}{\partial x} = \frac{T_1 - T_2}{L} = \frac{400-600}{0.1} = -2000\frac{^\circ K}{m}$$

۱۵ ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

در این حالت با در نظر گرفتن المانی به ضخامت dx درمی‌یابیم که ترم q_0'' جزئی از معادله دیفرانسیل انرژی خواهد شد:

$$\left[-k(bw)\frac{dT}{dx}\right]_x - \left[-k(bw)\frac{dT}{dx}\right]_{x+\Delta x} + q_0''wdx = 0$$

$$\frac{d^2T}{dx} + \frac{q_0''}{bk} = 0$$

$$T(x=0) = T_0$$

$$T(x=L) = T_0$$

۱۶ ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

مراجعه شود به شکل (۵ـ۸) و توضیحات مربوط به آن

۱۷ ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$h = \frac{-k\frac{\partial T}{\partial y}}{T\omega - T_\infty}$$

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

(معادله ۵ ـ ۵۵)

$$T_w - T_\infty = \text{ثابت}$$

لذا در طول صفحه و در حالت دمای ثابت دیواره $\frac{\partial T}{\partial y}$ روند نزولی خواهد داشت.

۱۸ ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

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

$$q'' = \text{ثابت}$$

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

لذا:

$$(T_w - T_\infty) \sim \sqrt{x}$$

یعنی در حالت شار ثابت اختلاف دمای صفحه و سیال افزایش می‌یابد.

۱۹ ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$u_i A_i = u_0 A_0 \quad \rightarrow \quad u_0 = \frac{A_i}{A_0}u_i = \frac{\pi D_i L}{\pi D_0 L}u_i = \frac{1}{2}u_i$$

۲۰ ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

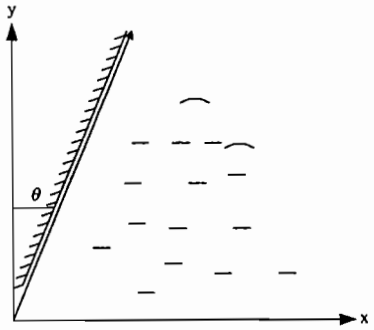
مطابق توضیحات سوال ۱۷، $\frac{\partial T}{\partial r}$ با h نسبت مستقیم دارد و چون h در لوله زبر بیش از لوله صاف است (طبق آنالوژی) لذا $\frac{\partial T}{\partial r}$ در لوله زبر بزرگ‌تر است.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۹ـ۷ سوالات آزمون ۸۵

۱ـ برای یک صفحه مورب که یک وجه آن در تماس با سیال داغ ساکن است و با محور عمودی زاویه θ می‌سازد، وقتی زاویه θ حداکثر تا 40 درجه افزایش یابد کدام‌یک از جملات زیر در مورد عدد ناسلت متوسط $\left(\overline{Nu}\right)$ صحیح است؟



۱) $\overline{Nu}$ کاهش می‌یابد.

۲) $\overline{Nu}$ افزایش می‌یابد.

۳) $\overline{Nu}$ تا یک زاویه‌ای ابتدا افزایش وسپس کاهش می‌یابد.

۴) $\overline{Nu}$ تا یک زاویه‌ای ابتدا کاهش وسپس افزایش می‌یابد.

۲ ـ صفحه گرمی در یک سیال سرد ساکن به‌طور عمودی واقع شده است. عدد ناسلت جابجایی آزاد در نقاط مختلف بر حسب ضخامت لایه مرزی چگونه تغییر می‌کند؟

۱) با کاهش ضخامت لایه مرزی و کاهش فاصله از بالاترین نقطهٔ صفحه کاهش می‌یابد.

۲) با افزایش ضخامت لایه مرزی و افزایش فاصله از بالاترین نقطهٔ صفحه کاهش می‌یابد.

۳) با افزایش ضخامت لایه مرزی افزایش و با افزایش فاصله از بالاترین نقطهٔ صفحه کاهش می‌یابد.

۴) با کاهش ضخامت لایه مرزی افزایش و با افزایش فاصله از بالاترین نقطهٔ صفحه افزایش می‌یابد.

۳ ـ سیالی در لوله‌ای با دمای دیوارهٔ ثابت در حالت پایا (Stready State) با سرعت ثابت V_0 عبور کرده و سرد می‌شود. ضریب انتقال حرارت جابجایی بین سیال و دیوارهٔ لوله برابر h است. جهت یافتن دمای سیال کدام معادله را باید حل کنیم؟

۱) $\rho C V_0 \frac{\partial T}{\partial z} = k \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}$

۲) $k \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + h\left[T - T_w\right] = 0$

۳) $\rho C V_0 \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{k}{r} \frac{\partial}{\partial r}\left(r \frac{\partial T}{\partial r}\right)$

۴) $\rho C V_0 \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{k}{r} \frac{\partial}{\partial r}\left(r \frac{\partial T}{\partial r}\right) + h\left[T - T_w\right]$

۴ ـ یک لوله با قطر داخلی و خارجی D_i و D_o از طریق اتصال جدار لوله به برق DC با شدت $\dot{q}\left(\frac{W}{m^3}\right)$ حرارت داده می‌شود. دیوار خارجی لوله عایق‌بندی شده است. آب با شدت $\dot{m}$ از داخل لوله جریان دارد. در صورتی که دمای ورودی و خروجی آب به لوله به ترتیب T_{b_i} و T_{b_o} باشد کدام‌یک از جملات زیر صحیح است؟

۱) شرط مرزی حرارتی دما ثابت بوده و مقدار حرارت دریافتی با $\left(D_o^2 - D_i^2\right)$ نسبت عکس دارد.

۲) شرط مرزی حرارتی دما ثابت بوده و مقدار حرارت دریافتی با $\left(D_o^2 - D_i^2\right)$ نسبت مستقیم دارد.

۳) شرط مرزی حرارتی شار ثابت بوده و مقدار حرارت دریافتی با $\left(D_o^2 - D_i^2\right)$ نسبت عکس دارد.

۴) شرط مرزی حرارتی شار ثابت بوده و مقدار حرارت دریافتی با $\left(D_o^2 - D_i^2\right)$ نسبت مستقیم دارد.

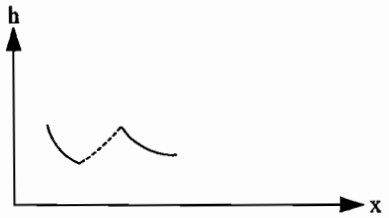
پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

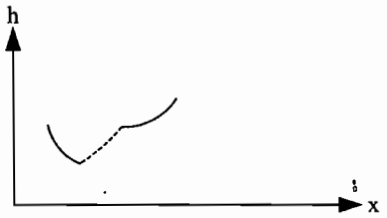
پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

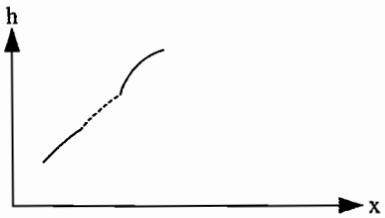
۵ ـ جریان آرام سیال، در داخل لوله افقی در حالت جابجایی اجباری در شرایط توسعه یافتگی و پایا بودن جریان برقرار است. عدد پکلت (Peclet Number) عدد بزرگی می‌باشد. شرط مرزی دما ثابت و یا شار حرارتی ثابت در دیوارهٔ لوله برقرار بوده و جهت حرکت سیال z می‌باشد. به چند شرط مرزی حرارتی جهت حل معادله حاکم انرژی نیاز است؟

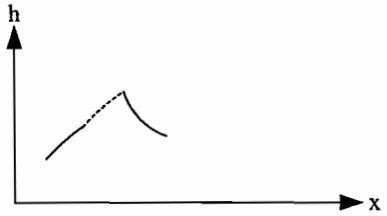
۱) یک شرط مرزی در جهت z و یک شرط مرزی در جهت r
۲) دو شرط مرزی در جهت z و یک شرط مرزی در جهت r
۳) یک شرط مرزی در جهت z و دو شرط مرزی در جهت r
۴) دو شرط مرزی در جهت z و دو شرط مرزی در جهت r

۶ ـ در شکل زیر وقتی سیالی بر روی صفحه افقی می‌وزد تغییرات ضریب جابجایی انتقال حرارت (h) با x چگونه است؟

۱)


۲)


۳)


۴)


۷ ـ در مورد اتلاف حرارتی ویسکوزیته (Viscous Dissipation) در معادلهٔ انرژی کدام‌یک از گزینه‌های زیر صحیح است؟

۱) اتلاف ویسکوزیته با گرادیان سرعت‌ها و ویسکوزیته دینامیکی سیال متناسب است.
۲) اتلاف ویسکوزیته با گرادیان سرعت‌ها و ویسکوزیته سینماتیکی سیال متناسب است.
۳) اتلاف ویسکوزیته با سرعت در جهت‌های مختلف و ویسکوزیته دینامیکی سیال متناسب است.
۴) اتلاف ویسکوزیته با سرعت در جهت‌های مختلف و ویسکوزیته سینماتیکی سیال متناسب است.

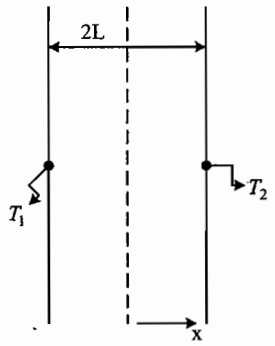
۸ ـ عدد پرانتل جیوه بسیار کوچک است پس می‌توان نتیجه گرفت:

۱) چگالی جیوه خیلی زیاد است.
۲) ضریب نفوذ گرمایی جیوه کوچک است.
۳) ضخامت لایه مرزی دمایی از ضخامت لایه مرزی سرعتی خیلی کوچکتر است.
۴) ضخامت لایه مرزی دمایی از ضخامت لایه مرزی سرعتی خیلی بزرگتر است.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۹ ــ در صفحه‌ای به ضخامت $2L$ حرارت با نرخ $\dot{q}\left(W/m^3\right)$ تولید می‌شود. اگر جداره‌ها در دو طرف در دمای T_1 و محیط دارای دمای $T_\infty\left(T_1 > T_\infty\right)$ و سطح نیز برابر A باشد، مقدار حرارت انتقال یافته از صفحه به محیط در شرایط پایا چقدر است؟



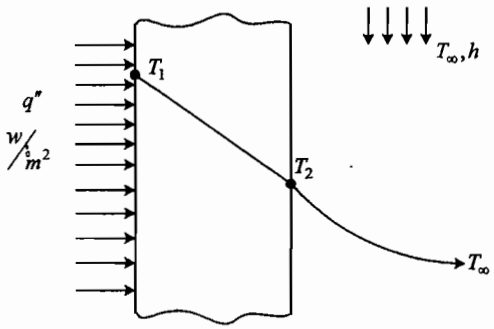
۱) $q = \dot{q}$

۲) $q = \dot{q}(L \cdot A)$

۳) $q = 2\dot{q}L \cdot A$

۴) $q = \dot{q}\left(\frac{L \cdot A}{2}\right)$

۱۰ ــ در دیوار تخت جامد شکل زیر در صورتی که ضریب هدایت حرارتی ثابت و برابر k و مساحت دیوار A باشد کدام‌یک از روابط زیر صحیح است؟



۱) $T_2 = \frac{q''}{h} + T_\infty$

۲) $T_1 = \frac{q''}{h} + T_\infty$

۳) $T_2 = \frac{q''}{h} - T_\infty$

۴) $T_1 = \frac{q''}{h} - T_\infty$

۱۱ ــ از نظر ریاضی شرط مرزی سطح عایق شده می‌تواند همانند شرط مرزی زیر باشد؟

۱) محیط جابجایی با $Bi < 0.1$ است.

۲) محیط جابجایی اما با $h = 0$ است.

۳) محیط جابجایی اما با $h = \infty$ است.

۴) محیط جابجایی اما با $h \gg \frac{k}{L}$ است.

۱۲ ــ ضریب هدایت گرمایی جسمی تابع دما است و با گرم شدن جسم کاهش می‌یابد. دمای یک طرف تیغه‌ای از این جسم T_3 و دمای طرف دیگر آن T_2 و هر دو ثابت‌اند. دمای وسط تیغه نسبت به مقدار $\frac{1}{2}(T_1 + T_2)$ چگونه است؟

۱) کمتر است. ۲) بیشتر است. ۳) برابر است. ۴) اطلاعات کافی نیست.

۱۳ ــ آیا عایق کردن دودکش کوره‌های نفتی ضرورتی دارد؟

۱) به جای عایق‌کاری بهتر است قطر دودکش را کم کرد.

۲) عایق‌کاری خلاف قصد ما در اتلاف حرارتی است و سودی ندارد.

۳) افزایش ارتفاع دودکش در ایجادمکش مهم‌تر از عایق‌کاری است.

۴) عایق‌کاری موجب گرم ماندن توده گاز وحفظ مکش گازهای داغ در حال صعود می‌شود.

۱۴ ــ در مورد کدام اجسام می‌توان گفت که قانون کیرشهف $\varepsilon = \alpha$ صادق است؟

۱) اجسام سیاه

۲) اجسام خاکستری

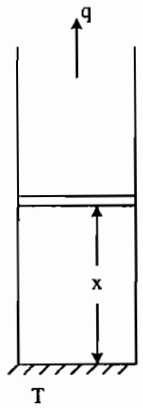
۳) همه اجسام در همه طول موج‌ها

۴) اجسام رنگی در محدوده مرئی

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۱۵ ـ در یک استوانه سیاه با کف داغ یک سپر گرمایی لغزنده قرار دارد. با افزایش فاصله x (از کف استوانه تا سپر) مقدار تابش گرمایی از دهانه استوانه q چگونه تغییر می‌کند؟



۱) مقدار q تابع x نیست.
۲) مقدار q همیشه ثابت است.
۳) با افزایش x مقدار q بیشتر می‌شود.
۴) با افزایش x از مقدار q کاسته می‌شود.

۱۶ ـ سطح فلز تابنده گداخته‌ای تدریجاً سرد می‌شود. کدام تغییر رنگ صحیح است؟

۱) قرمز ـ نارنجی ـ زرد ۲) زرد ـ نارنجی ـ قرمز ۳) سفید ـ نارنجی ـ زرد ۴) قرمز ـ نارنجی ـ سفید

۱۷ ـ بالاترین ضریب انتقال حرارت جابجایی h در کدام‌یک از موارد زیر قابل دستیابی است؟

۱) چگالش قطره‌ای ۲) جوشش هسته‌ای
۳) جریان گاز در لوله با سرعت فراصوت ۴) جریان مایع در لوله با سرعت فراصوت

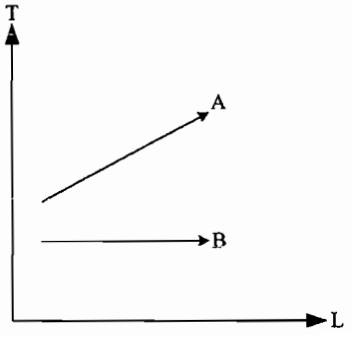
۱۸ ـ سه پره کاملاً هم شکل از سه جنس مختلف ساخته شده است و ضریب نفوذ حرارتی آن‌ها مطابق $\alpha_A > \alpha_B > \alpha_C$ است. روی آن‌ها موم پوشش داده شده است. اگر ابتدای میله‌ها به‌طور عمودی در آب جوش قرار گیرند، طولی از آن‌ها که موم روی آن ذوب شده باشد چگونه است؟

۱) $L_A = L_B = L_C$
۲) $L_A > L_B > L_C$
۳) $L_A < L_B < L_C$
۴) هیچ‌کدام، میزان موم ذوب شده بستگی به ضریب هدایت حرارتی پره‌ها ندارد.

۱۹ ـ داخل هر کدام از لوله‌های یک مبدل گاز ـ گاز یک فنر قرار می‌دهیم. گاز داخل لوله در حال سرد شدن در فرایندی پایا است. اگر قبل و بعد از تعبیه فنر جریان در هم باشد و افت فشار سمت لوله‌ها ΔP_t و ضریب جابجایی سمت لوله‌ها h_t نامیده شوند.

۱) ΔP_t و h_t هر دو کاهش می‌یابند. ۲) ΔP_t کم و h_t زیاد می‌شود.
۳) ΔP_t زیاد و h_t کم می‌شود. ۴) ΔP_t و h_t هر دو افزایش می‌یابند.

۲۰ ـ در یک مبدل زوج لوله همسو نمودار تغییرات دما در طول لوله‌ها به‌صورت شکل زیر است. کار این دستگاه چیست؟



۱) چگالنده
۲) جوش‌آور
۳) گرمکن هوا
۴) غیرممکن است.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۹ـ۸ پاسخ سوالات آزمون ۸۵

۱ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

هر چه صفحه از حالت قائم دورتر شود (افزایش θ در شکل) Nu هم کوچک‌تر می‌شود.

۲ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

در جابجایی آزاد یک صفحه قائم:

$$\delta \sim x^{\frac{1}{4}}$$ (معادله ۶ـ۳۸)

$$Nu \sim x^{\frac{3}{4}}$$ (معادله ۶ـ۴۲)

$$h \sim \frac{1}{x^{\frac{1}{4}}}$$ (معادله ۶ـ۴۲)

x : طول در مسیر جریان سیال

اگر $T_w > T_\infty$ باشد جریان سیال از پایین به بالای صفحه خواهد بود و اگر $T_w < T_\infty$ باشد جریان آزاد سیال از بالا به پایین صفحه خواهد بود. لذا در مسئله حاضر که یک صفحه گرم درون یک سیال سرد و قرار گرفته جریان از پایین به بالا خواهد بود:

$x \uparrow \Rightarrow \delta \uparrow$

$x \uparrow \Rightarrow Nu \uparrow$

لذا Nu و δ با هم نسبت مستقیم دارند. در این سوال منظور از عبارت افزایش فاصله از بالاترین نقطه صفحه (با توجه به توضیحات فوق) یعنی کاهش x چون x از پایین به بالا زیاد می‌شود (جهت جریان)

۳ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

۴ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$Q = \dot{q}\frac{\pi}{4}\left(D_0^2 - D_i^2\right)L = \dot{m}C_P\left(T_{b_0} - T_{b_i}\right)$$

مسئله شار ثابت بوده (به علت تولید یکنواخت گرما در دیواره) و Q با $\left(D_0^2 - D_i^2\right)$ متناسب است.

۵ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

Pe عدد بزرگی است. $\rightarrow \alpha\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \ll V_z\frac{\partial T}{\partial z}$

لذا از هدایت محوری می‌توان صرف‌نظر کرد بنابراین معادله در راستای z مرتبه یک و در راستای r مرتبه دو است.

۶ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

۷ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$\phi = \mu\left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)^2$$

لذا ϕ با ویسکوزیته دینامیکی (μ) و گرادیان سرعت متناسب است.

۸ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$Pr < 1 \rightarrow \delta_t > \delta$ (معادله ۵ـ۵۰)

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۹ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$Q = \dot{q} \times \text{حجم} = \dot{q}(2AL)$$

۱۰ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$q'' = k\frac{T_1 - T_2}{L} = h(T_2 - T_\infty)$$

$$T_2 = T_\infty + \frac{q''}{h}$$

۱۱ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

۱۲ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

(شکل ۲ـ۱) $T > \frac{T_1 + T_2}{2}$ وسط $\rightarrow$ k صعودی

(شکل ۲ـ۲) $T < \frac{T_1 + T_2}{2}$ وسط $\rightarrow$ k نزولی

(شکل ۲ـ۳) $T = \frac{T_1 + T_2}{2}$ وسط $\rightarrow$ k مستقل

۱۳ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

در سوال ۵ سال ۸۴ ثابت کردیم:

$$\Delta P \sim (T_g - T_\infty)$$

لذا عایق کردن دودکش باعث گرم ماندن توده گاز شده (ΔT بزرگ‌تر) و لذا مکش طبیعی دودکش بهتر صورت می‌گیرد.

۱۴ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

۱۵ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

با افزایش فاصله صفحات (با مساحت محدود) F_{12} کاهش می‌یابد و لذا میزان انتقال حرارت تابشی کم می‌شود.

۱۶ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

۱۷ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

۱۸ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

هر چه α بزرگ‌تر باشد سرعت انتقال گرما درون میله بیشتر است لذا اثرات ناشی از قرار گرفتن میله درون آب جوش در میله A سریع‌تر از سایر میله‌ها منتقل می‌شود (به علت α بزرگ‌تر)

۱۹ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

ایجاد موانع بر سر راه جریان سیال ΔP را زیاد نموده و طبق آنالوژی باعث افزایش h هم می‌شود.

۲۰ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

دمای سیال A در طول مبدل زیاد شده است (یعنی گرما دریافت کرده است). اما دمای سیال B ثابت است (یعنی در حال تغییر فاز است) و به ظاهر این مبدل یک کندانسور است اما چنین امری غیرممکن است چون مستلزم انتقال گرما از سیال سرد (B) به سیال گرم (A) است. طبق قانون دوم ترمودینامیک گرما نمی‌تواند از منبع سرد به منبع گرم منتقل شود (بدون صرف کار)

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۹ـ۹ سؤالات آزمون ۸۶

۱ـ اگر از توان نشری جسم سیاه که تابعی از دما وطول موج است مشتق گرفته و مساوی صفر قرار دهیم، چه نتیجه‌ای حاصل می‌شود؟

۱) با افزایش دما، رنگ فلز گداخته به سمت طول موج‌های پایین می‌رود.

۲) $\lambda_{max} T = Cte$

۳) با کاهش دما مقدار λ متناظر با $E_{b\,max}$ افزایش دارد.

۴) همه موارد

۲ـ مفهوم عدد بدون بعد گراشف چیست؟

۱) حاصل‌ضرب Re و Pr

۲) نسبت نیروهای شناوری به نیروهای ویسکوز

۳) نسبت نوسلت به رینولدز

۴) نسبت حرارت انتقال یافته به دلیل جابجایی آزاد به اجباری

۳ـ ضایعات رادیواکتیو در داخل ظروف کروی ذخیره‌سازی می‌شوند. این ضایعات انرژی به‌صورت $\dot{q} = \dot{q}_0\left[1-\left(\frac{r}{R}\right)^2\right]$ تولید می‌نمایند که در آن R شعاع کره و $\dot{q}_0$ ثابت است. $\dot{q}$ انرژی تولید شده در واحد حجم می‌باشد. این کره در سیالی با دمای T_∞ ضریب جابجایی h قرار می‌گیرد. در حالت پایا دمای دیوار کره چقدر خواهد بود؟

۱) $T_w = T_\infty + \frac{2\dot{q}_0 R}{15h}$

۲) $T_w = T_\infty + \frac{4\dot{q}_0 R}{15h}$

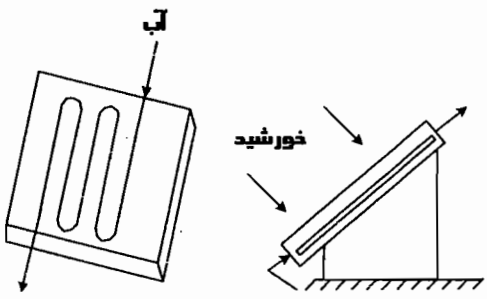
۳) $T_w = T_\infty - \frac{4\dot{q}_0 R}{15h}$

۴) $T_w = T_\infty - \frac{2\dot{q}_0 R}{15h}$

۴ـ یک سیم الکتریکی به قطر 3 میلی‌متر وطول 5 متر با یک پوشش پلاستیکی به ضخامت 2 میلی‌متر که ضریب هدایت حرارتی آن $k = 0.15\frac{W}{m^\circ C}$ می‌باشد، پوشیده شده است. اگر این عایق حرارتی در محیطی به دمای 30 درجه سانتی‌گراد که ضریب انتقال حرارت جابجایی آن $12\frac{W}{m^2\,^\circ C}$ است قرار گیرد، شعاع بحرانی عایق پلاستیکی کدام است؟

۱) 8 سانتی‌متر ۲) 4 سانتی‌متر ۳) 12.5 میلی‌متر ۴) 8.5 سانتی‌متر

۵ـ در یک گردآورنده خورشیدی از قاب شیشه‌ای استفاده می‌شود به‌طوری که نور خورشید ابتدا از شیشه عبور کرده و سپس به صفحه فلزی گیرنده تابشی می‌رسد. این شیشه به چه منظور تعبیه شده است؟



۱) کاهش تابش خورشید.

۲) کاهش تابش از صفحه فلزی به محیط

۳) کاهش افت به صورت هدایت

۴) کم کردن افت جابجایی با محیط

۶ـ یک جسم تابنده ایده‌آل چه خصوصیتی دارد؟

۱) $\alpha_\lambda = \varepsilon_\lambda$

۲) به رنگ سیاه باشد.

۳) همه تابش حرارتی دریافتی را جذب کند.

۴) در همه امتدادها و همه طول موج‌ها به یکسان از خود تابش نشر کند.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۷ ـ در هر کدام از دو حالت زیر در یک مبدل حرارتی پوسته و لوله سیال را از کدام قسمت باید عبور داد؟

الف ـ سیال جرم‌زا (رسوب‌زا) باشد.

ب ـ سیال فقط خورنده باشد.

۱) باید در حالت الف از لوله و در حالت ب از پوسته عبور کند.
۲) در هر دو حالت باید از لوله عبور کند.
۳) در حالت الف از پوسته و در حالت ب از پوسته عبور کند.
۴) در حالت الف و ب هر دو باید از پوسته عبور کند.

۸ ـ یک صفحه افقی که در دو انتها به منبع گرمی متصل است در اثر جابه‌جایی آزاد گرما از دست می‌دهد. در حالت پایا کدام‌یک از جملات زیر صحیح است؟

۱) دما در سطح پایین بیشتر از دمای سطح بالا می‌باشد.
۲) دما در سطح پایین و بالا برابرند.
۳) دمای سطح پایین کمتر از دمای سطح بالا می‌باشد.
۴) بستگی به ضریب هدایت گرمایی صفحه دارد و ممکن است دما در سطح بالا پایین‌تر یا بالاتر باشد.

۹ ـ برای انتقال حرارت جابجایی آزاد در جریان آرام از یک سطح عمودی ضریب انتقال جابجایی محلی $h_x = Cx^{-\frac{1}{4}}$ است که در آن x فاصله از ابتدای صفحه بوده و C عدد ثابتی است. نسبت ضریب انتقال حرارت جابجایی متوسط $\bar{h}x$ به ضریب انتقال حرارت جابجایی محلی h_x چقدر است؟

۱) $\frac{1}{3}$
۲) $\frac{2}{3}$
۳) $\frac{4}{3}$
۴) 2.0

۱۰ ـ یک لوله با قطر D و طول L به وسیله المان الکتریکی حرارت داده می‌شود که شار حرارتی در طول لوله به صورت زیر $q''(x) = q''_0 \sin\frac{\pi x}{L}$ تغییر می‌نماید. سیال در دمای T_{mi} وارد شده و در دمای T_{mo} خارج می‌شود. تابعیت دمای خروجی چگونه خواهد بود؟

۱) $T_{mo} = T_{mi} + 2\frac{DLq''_0}{\dot{m}C_P}$
۲) $T_{mo} = T_{mi} + 4\frac{DLq''_0}{\dot{m}C_P}$
۳) $T_{mo} = T_{mi} + \frac{DLq''_0}{2\dot{m}C_P}$
۴) $T_{mo} = T_{mi} + \frac{DLq''_0}{3\dot{m}C_P}$

۱۱ ـ یک صفحه عمودی با دمای ثابت در داخل سیال سرد قرار دارد. اگر جریان ارام باشد کدام‌یک از جملات زیر صحیح است؟

۱) ضریب جابجایی محلی در بخش بالای صفحه بیشتر بوده و با ضخامت لایه مرزی نسبت عکس دارد.
۲) ضریب جابجایی محلی در بخش بالای صفحه کمتر بوده و با ضخامت لایه مرزی نسبت عکس دارد.
۳) ضریب جابجایی محلی در بخش بالای صفحه بیشتر بوده و با ضخامت لایه مرزی نسبت مستقیم دارد.
۴) ضریب جابجایی محلی در بخش بالای صفحه کمتر بوده و با ضخامت لایه مرزی نسبت مستقیم دارد.

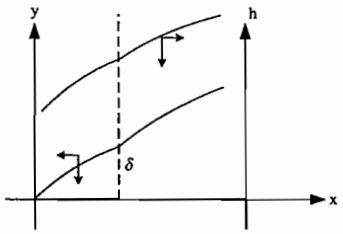
۱۲ ـ شرط توسعه یافتگی حرارتی برای شرط مرزی دمای ثابت در دیواره در داخل کانال چیست؟ T_w دمای دیوار و T_b دمای بالک سیال است.

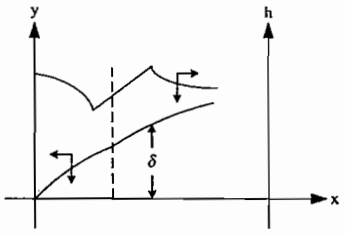
۱) $\frac{\partial}{\partial x}\left[\frac{T_w - T}{T_w - T_b}\right] = 0$
۲) $\frac{\partial}{\partial x}\left[\frac{T_b - T}{T_w - T_b}\right] = 0$
۳) $\frac{\partial T}{\partial x} = 0$
۴) $\frac{\partial T_b}{\partial x} = 0$

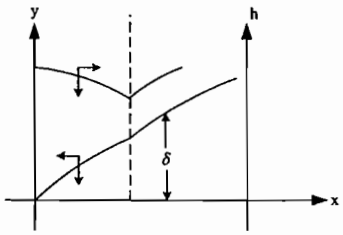
پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

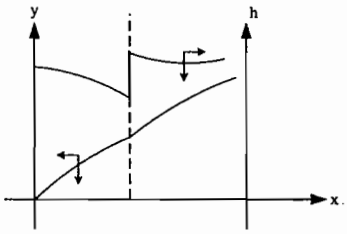
پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۱۳ ـ جریانی از سیال سرد بر روی یک صفحه داغ می‌وزد و هر سه ناحیه لایه‌ای، گذرا و آشفته در لایه مرزی رخ می‌دهد. کدام شکل پروفایل صحیح ضریب انتقال حرارت محلی است؟

۱)


۲)


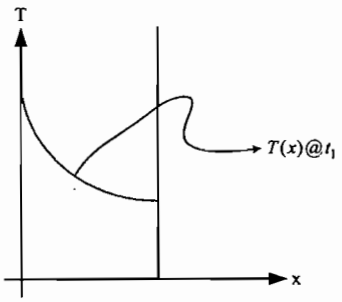
۳)


۴)


۱۴ ـ مایع داغی در یک لوله مارپیچ که در هوای ساکن قرار دارد جاری است. ضریب انتقال حرارت مایع با جداره داخلی لوله مارپیچ در مقایسه با یک لوله مستقیم و همان شرایط سیال چگونه است؟

۱) بزرگتر
۲) مساوی
۳) کوچکتر
۴) بسته به جنس مایع ممکن است کوچکتر یا بزرگتر باشد.

۱۵ ـ در صورتی که تغییرات دما با مکان در داخل یک دیوار در یک زمان مشخص t_1 در یک فرآیند گذرا به صورت زیر باشد از آن چه نتیجه‌ای می‌توان گرفت؟

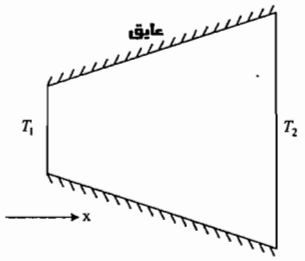


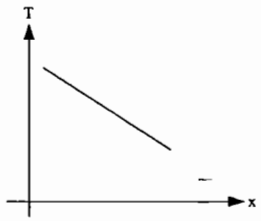
۱) سرد یا گرم شدن دیوار بستگی به ضریب هدایت حرارتی آن دارد.
۲) دیوار در ابتدا گرم و در زمان دیگری سرد می‌شود.
۳) دیوار گرم می‌شود.
۴) دیوار سرد می‌شود.

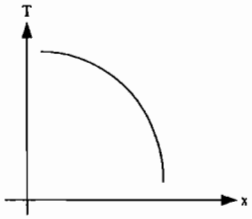
پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

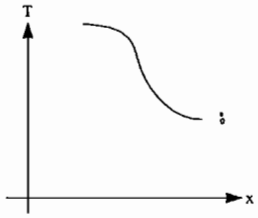
پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

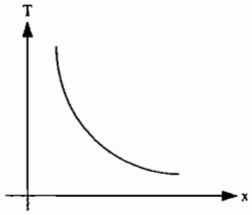
۱۶ ـ در شکل زیر که انتقال حرارت به صورت یک بعدی و پایا می‌باشد و خواص حرارتی جسم ثابت است تغییرات دما در جهت x به‌صورت زیر خواهد بود؟



۱)


۲)


۳)


۴)


۱۷ ـ دیواری به ضخامت $2L$ مفروض است. انتقال حرارت در این دیوار فقط در جهت x صورت می‌گیرد. اگر دیوار در مقطع $2L$ شار حرارتی q_w دریافت کند و در معرض هوا با دمای T_∞ و ضریب انتقال حرارت h_0 باشد، شرط مرزی جهت حل معادله دیفرانسیل انتقال حرارت در این مقطع عبارتست از:

۱) $-k\left.\frac{\partial T}{\partial x}\right|_{x=2L} = h\left(T_w - T_\infty\right)$

۲) $-k\left.\frac{\partial T}{\partial x}\right|_{x=2L} + q_w + h\left(T_\infty - T_w\right) = 0$

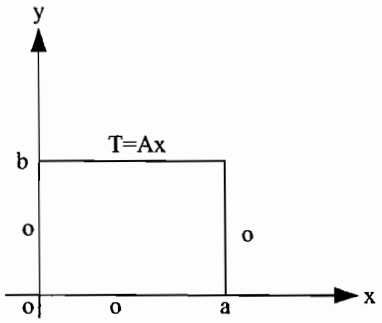
۳) $-k\left.\frac{\partial T}{\partial x}\right|_{x=2L} = h\left(T_w - T_\infty\right) + q_w$

۴) $-k\left.\frac{\partial T}{\partial x}\right|_{x=2L} = h\left(T_\infty - T_w\right) - q_w$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۱۸ ـ یک صفحه مستطیلی مطابق شکل زیر با مشخصات داده شده وجود دارد. در صورتی که انتقال حرارت پایا و خواص حرارتی ثابت باشند، توزیع دما در صفحه به صورت کدام‌یک ازحالت‌های زیر خواهد بود؟



۱) $T(x,y)=\frac{2Aa}{\pi}(-1)^{\frac{n+1}{n}}\frac{\cos\frac{n\pi y}{a}\sin\frac{n\pi y}{a}}{\sinh\frac{n\pi b}{a}}$

۲) $T(x,y)=\frac{2Aa}{\pi}(-1)^{\frac{n+1}{n}}\frac{\sin\frac{n\pi y}{a}\sin\frac{n\pi y}{a}}{\sinh\frac{n\pi b}{a}}$

۳) $T(x,y)=\frac{2Aa}{\pi}\frac{(-1)^{n+1}}{n}\sin\frac{n\pi x}{a}\frac{\sinh\left(\frac{n\pi y}{a}\right)}{\sinh\left(\frac{n\pi b}{a}\right)}$

۴) $T(x,y)=\frac{2Aa}{\pi}\frac{(-1)^{n+1}}{n}\sin\frac{n\pi y}{a}\frac{\sinh\left(\frac{n\pi x}{a}\right)}{\sinh\left(\frac{n\pi b}{a}\right)}$

۱۹ ـ مؤثر بودن (Effectiveness) یک پره (Fin) بسیار بلند در کدام‌یک از شرایط زیر بیشتر است؟

۱) ضریب هدایت حرارتی پره زیاد و ضریب جابجایی انتقال حرارت هوای اطراف نیز زیاد باشد.

۲) ضریب هدایت حرارتی پره کم و ضریب جابجایی انتقال حرارت هوای اطراف نیز کم باشد.

۳) ضریب هدایت حرارتی پره زیاد و ضریب جابجایی انتقال حرارت هوای اطراف کم باشد.

۱) ضریب هدایت حرارتی پره کم و ضریب جابجایی انتقال حرارت هوای اطراف زیاد باشد.

۲۰ ـ در یک کره به قطر R با ضریب هدایت حرارتی k حرارت با نرخ $\dot{q}\left(\frac{W}{m^3}\right)$ تولید می‌شود. شیب دما روی سطح بیرونی عبارتست از:

۱) $-\frac{3\dot{q}R}{2k}$

۲) $-\frac{4\dot{q}R}{4k}$

۳) $-\frac{2\dot{q}R}{3k}$

۴) $-\frac{\dot{q}R}{3k}$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۹ـ۱۰ پاسخ سوالات آزمون ۸۶

۱ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

قانون وین $\lambda_{max}.T = 2897.6$

۲ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

عدد گراشف نسبت نیروهای شناوری به نیروهای ویکسوز است.

۳ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$Q = \int_0^R \dot{q} 4\pi r^2 dr = h\left(4\pi R^2\right)\left(T_w - T_\infty\right)$$

چون $\dot{q}$ ثابت نیست از فرم انتگرالی استفاد شده است:

$$\int_0^R \dot{q}_0\left[1-\left(\frac{r}{R}\right)^2\right]\left(4\pi r^2\right)dr = h\left(4\pi R^2\right)\left(T_w - T_\infty\right)$$

$$\dot{q}_0\left[\frac{R^3}{3}-\frac{R^5}{5R^2}\right] = hR^2\left(T_w - T_\infty\right)$$

$$T_w = T_\infty + \frac{2\dot{q}_0 R}{15h}$$

۴ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$r_{cr} = \frac{k}{h} = \frac{0.15}{12} = 0.0125\,m = 12.5\,mm$$

۵ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

نصب شیشه (مطابق توضیحات پدیده گلخانه) مانعی در راه رسیدن گرمای خورشید به سطح لوله‌ها ایجاد نمی‌کند اما چون ارتباط لوله‌ها با محیط اطراف را قطع می‌کند لذا از اتلاف حرارتی به طریقه جابجایی بین لوله‌های گرم شده (در اثر دریافت تابش) و محیط اطراف جلوگیری می‌کند.

۶ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

۷ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

سیال رسوب‌زا و سیال خورنده هر دو باید وارد لوله شوند.

۸ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

چون صفحه گرم از وجه فوقانی بیشتر تبادل گرما می‌کند (سوال ۱ فصل ۶) بنابراین دمای وجه بالایی به علت تبادل گرمای بیشتر کمتر خواهد شد.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۹ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$\bar{h} = \frac{\int_0^L h dx}{\int_0^L dx} = \frac{\int_0^L cx^{-\frac{1}{4}} dx}{L} = \frac{\frac{4}{3}CL^{\frac{3}{4}}}{L}$$

$$\bar{h} = \frac{4}{3}CL^{-\frac{1}{4}} = \frac{4}{3}h_{x=L}$$

۱۰ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

چون فلاکس حرارتی در طول لوله متغیر است لذا بیلان انرژی به فرم انتگرالی در طول لوله نوشته می‌شود:

$$Q = \int_0^L q''(\pi D dx) = \dot{m}C_P\left(T_{m_o} - T_{m_i}\right)$$

$$\int_0^L q''_0 \sin\frac{\pi x}{L}.\pi D dx = \dot{m}C_P\left(T_{m_0} - T_{m_i}\right)$$

پس از ساده‌سازی ریاضی:

$$T_{m_0} = T_{m_i} + \frac{2DLq''_0}{\dot{m}C_P}$$

۱۱ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

در جابجایی آزاد از یک صفحه قائم:

$$h \sim \frac{1}{x^{\frac{1}{4}}}$$

$$\delta \sim x^{\frac{1}{4}}$$

$$h = \frac{2k}{\delta}$$

لذا h با δ نسبت عکس دارد و در بالای صفحه کمتر از پایین صفحه است (چون صفحه گرم است لذا جریان از پایین به بالای صفحه است و h در مسیر جریان کم می‌شود و δ افزایش می‌یابد.)

۱۲ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

۱۳ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

۱۴ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

ΔP لوله مارپیچ بزرگ‌تر از ΔP لوله مستقیم است لذا طبق آنالوژی h لوله مارپیچ بزرگ‌تر است.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۱۵ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

با توجه به شکل گرادیان دما در سمت چپ دیواره از سمت راست بیشتر است:

$$\left|\frac{\partial T}{\partial x}\right|_1 > \left|\frac{\partial T}{\partial x}\right|_2$$

لذا:

$$q_1 > q_2$$

بنابراین گرمای ورودی از سمت چپ در مقایسه با گرمای خروجی از سمت راست بزرگ‌تر است:

تجمع انرژی داریم $\rightarrow$ Input > Output

پس دیواره در حال گرم شده است. به‌طور کلی:

اگر تقعر منحنی توزیع دما روبه‌بالا باشد دیواره در حال گرم شدن است و اگر تقعر منحنی توزیع دما رو به پایین باشد دیواره در حال سرد شدن است.

۱۶ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$Q = -kA\frac{\partial T}{\partial x}$$

$$x\uparrow \Rightarrow A\uparrow \Rightarrow \frac{\partial T}{\partial x}\downarrow$$

یعنی در جهت x شیب منحنی توزیع دما کم می‌شود.

۱۷ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$\sum Q_i = 0$$

$$\left[-k\frac{\partial T}{\partial x}\right]_{x=-2L} + q_w + h\left(T_\infty - T_w\right) = 0$$

۱۸ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

با توجه به شرط مرزی غیرهموژن زیر:

$$T(x\ ,\ y = b) = Ax$$

توزیع دما در راستای x باید ارتوگنال باشد (یعنی از نوع sin و cos) و در راستای y باید غیرارتوگنال باشد (یعنی sinh و cosh).

با مقایسه با گزینه‌های سوال مشخص می‌شود که فقط گزینه ۳ می‌تواند صحیح باشد.

۱۹ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

۲۰ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

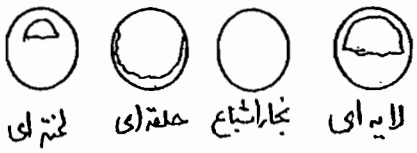
$$q = \frac{\dot{q}R}{3} = -k\frac{\partial T}{\partial r} \rightarrow \frac{\partial T}{\partial r} = -\frac{\dot{q}R}{3k} \quad \text{(معادله ۲ـ۶۵)}$$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۹-۱۱ سؤالات آزمون ۸۷

۱ـ بخار اشباع در داخل لوله‌ای که از جداره آن حرارت تلف می‌شود جاری است. ترتیب وقوع الگوی جریان به دلیل اتلاف حرارتی در داخل لوله کدام است؟



۱) بخار اشباع ـ حلقه‌ای ـ لایه‌ای ـ لخته‌ای

۲) بخار اشباع ـ لخته‌ای ـ لایه‌ای ـ حلقه‌ای

۳) حلقه‌ای ـ لخته‌ای ـ لایه‌ای ـ بخار اشباع

۴) لخته‌ای ـ لایه‌ای ـ حلقه‌ای ـ بخار اشباع

۲ـ ضریب انتقال حرارتی بین یک صفحه عمودی به دمای T_w و هوای ساکن T_∞ از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$Nu_x = \frac{hx}{k} = \left(\frac{Gr_x}{4}\right)^{\frac{1}{4}} * g(P_r)$$

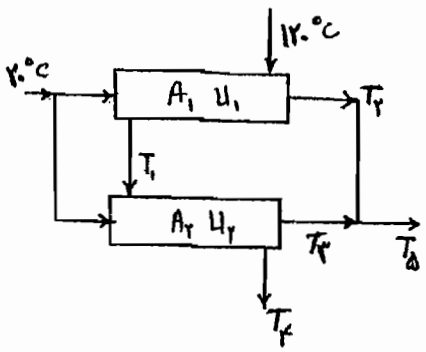
که در آن $g(Pr)$ یعنی تابعی از Pr اگر:

$$Gr_x = \frac{g\beta(T_w - T_\infty)x^3}{v^2}$$

باشد، در این‌صورت عدد ناسلت متوسط برروی صفحه عمودی برابر است با:

۱) $\overline{Nu_L} = Nu_x\big|_{x=L}$ ۲) $\overline{Nu_L} = 2Nu_x\big|_{x=L}$ ۳) $\overline{Nu_L} = \frac{1}{2}Nu_x\big|_{x=L}$ ۴) $\overline{Nu_L} = \frac{3}{4}Nu_x\big|_{x=L}$

۳ـ در آرایش زیر از دو مبدل زوج لوله استفاده شده است که در آن‌ها U_2 و U_1 و A_2 و A_1 و $\dot{m}_h$ و $\dot{m}_c$ و نیز C_{ph} و C_{pC} معلوم هستند. چنان‌چه $\dot{m}_c$ به نسبت مساوی بین دو مبدل تقسیم شده باشد، در حل معادلات حاکم برای محاسبه T_1 تا T_5 کدام روش را باید انتخاب کرد؟



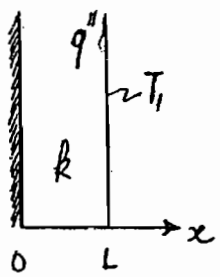
۱) دستگاه غیرخطی است ولی قابل حل است.

۲) دستگاه معادلات خطی است و به‌راحتی n معادله n مجهول حل می‌شود.

۳) دستگاه غیرخطی است ولی تعداد مجهول‌ها بیش از معادلات است.

۴) دستگاه شدیداً غیرخطی است و باید به روش حدس و خطا آن را حل کرد.

۴ـ در دیواره شکل زیر q'' حرارت تولیدی به‌ازای واحد حجم است. اگر در $x = L$ دمای سطح برابر T_1 باشد در شرایط پایا دمای سطح عایق شده چقدر است؟



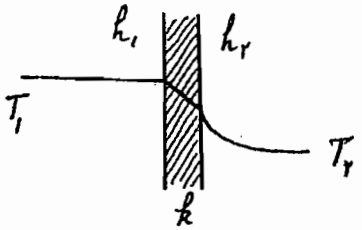
۱) $T_1 + \frac{q''L}{k}$ ۲) $T_1 + \frac{q''L^2}{2k}$

۳) $T_1 + \frac{q''L^2}{k}$ ۴) $T_1 + \frac{q''L}{2k}$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۵ ـ توزیع دمای پایا در سیستمی که دیواره‌ی جامدی دو سیال با دمای توده T_1 و T_2 را از هم جدا می‌کند به‌صورت زیر است. کدام گزینه صحیح است؟



۱) k ثابت بوده و $h_1 < h_2$

۲) k ثابت بوده و $h_1 \ll h_2$

۳) k ثابت بوده و h_1 = بسیار بزرگ و h_2 = معین

۴) k ثابت بوده و $h_1 = h_2$

۶ ـ کدام گزینه معرف جسم خاکستری است؟

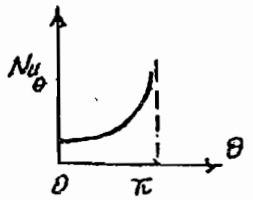
۱) ε_{λ} خاکستری تابعی از λ است. ۲) λ_{max} جسم خاکستری < λ_{max} جسم رنگی

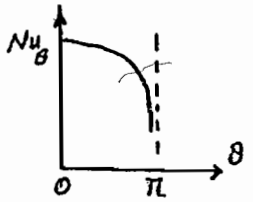
۳) λ_{max} جسم خاکستری < λ_{max} جسم سیاه ۴) λ_{max} جسم خاکستری = λ_{max} جسم سیاه

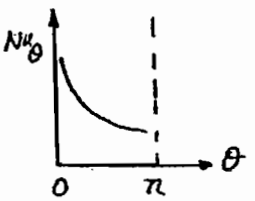
۷ ـ در سرد شدن یک کره جامد در زمان‌های مختلف، اختلاف دمای محسوسی بین سطح و مرکز آن مشاهده نمی‌شود. این بدین معنی است که:

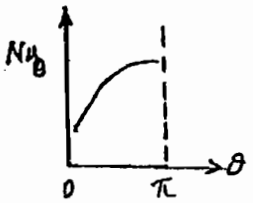
۱) $Bi = \infty$ ۲) $Bi = 1$ ۳) $Bi < 0.1$ ۴) $Bi > 0.1$

۸ ـ بخار اشباع در یک لوله افقی جریان دارد که داخل اتاقی با هوای ساکن واقع شده است. منحنی Nu_θ برحسب θ مطابق کدام‌یک از شکل‌های زیر است؟

۱)


۲)


۳)


۴)


۹ ـ موازنه انرژی برای وزش سیال برروی صفحه افقی در داخل لایه مرزی با کدام فرض ساده‌کننده به‌صورت زیر درمی‌آید:

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

۱) $\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}=0$ ۲) $\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\approx 0$ ۳) $\frac{\partial T}{\partial y}\gg\frac{\partial T}{\partial x}$ ۴) $\frac{\partial T}{\partial y}=\frac{\partial T}{\partial x}$

۱۰ ـ در تعریف عدد Peclet کدام‌یک از جملات زیر صحیح است؟

۱) نسبت افزایش انرژی سیال به انتقال حرارت به طریق هدایت در جهت حرکت سیال

۲) نسبت افزایش انرژی سیال به انتقال حرارت به طریق هدایت در جهت عمود بر حرکت سیال

۳) نسبت افزایش انرژی سیال به انتقال حرارت به جابه‌جایی در جهت عمود بر حرکت سیال

۴) نسبت افزایش انرژی سیال به دلیل انتقال حرارت هدایتی به انتقال حرارت به جابه‌جایی

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۱۱ ـ یک دیوار داغ ناگهان در محیطی با دمای T_∞ و ضریب جابه‌جایی انتقال حرارت h قرار می‌گیرد. اگر ضخامت دیوار δ باشد در چه شرایطی می‌توان سیستم را یکپارچه حرارتی فرض کرد؟

۱) در صورتی‌که ضریب هدایت حرارتی دیوار بسیار زیاد و یا ضخامت δ بسیار کم باشد.

۲) در صورتی‌که ضریب هدایت حرارتی دیوار بسیار کم و یا ضخامت δ بسیار کم باشد.

۳) در صورتی‌که ضریب هدایت حرارتی دیوار بسیار زیاد و یا ضخامت δ بسیار زیاد باشد.

۴) در صورتی‌که ضریب هدایتی حرارتی دیوار بسیار کم و یا ضخامت δ بسیار زیاد باشد.

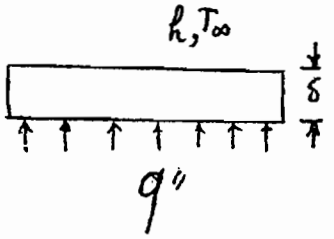
۱۲ ـ سیال نیوتنی بین دو صفحه موازی قرار دارد. صفحه‌ی بالایی با سرعت u کشیده می‌شود در حالی‌که صفحه‌ی پایینی ثابت است. صفحه پایینی عایق‌بندی شده و دمای صفحه بالایی T_2 می‌باشد. فلاکس حرارتی از صفحه متحرک چقدر است؟

۱) $q'' = \frac{4\mu u^2}{L}$ ۲) $q'' = \frac{\mu u^2}{L}$ ۳) $q'' = \frac{2\mu u^2}{L}$ ۴) $q'' = \frac{\mu u^2}{2L}$

۱۳ ـ در میعان بخار آب برروی چهار لوله افقی که بالای سر هم قرار گرفته‌اند داریم $h_4 = \frac{1}{\sqrt{2}} h_1$. دلیل کاهش ضریب انتقال حرارت نسبت به یک ردیف لوله چیست؟

۱) افزایش اغتشاش در فیلم
۲) کاهش زمانی تماس بین فیلم و لوله‌ها
۳) تماس فیلم بین دو ردیف لوله با بخار اشباع
۴) ضخیم‌تر شدن لایه برروی لوله‌های پایین

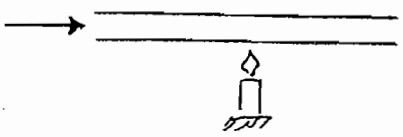
۱۴ ـ دیواری ابتدا در دمای T_∞ بوده و ناگهان شار حرارتی از سطح پایینی اعمال می‌شود. از تغییرات دما در ضخامت δ صرف‌نظر کنید و فرض کنید $m = \frac{h}{\rho C_p \delta}$ توزیع دما در دیوار شکل زیر چگونه است؟



۱) $\frac{T - T_\infty}{\frac{q''}{h}} = e^{mt}$ ۲) $\frac{T - T_\infty}{\frac{q''}{h}} = e^{-mt}$

۳) $\frac{T - T_\infty}{\frac{q''}{h}} = 1 - e^{-mt}$ ۴) $\frac{T - T_\infty}{\frac{q''}{h}} = 1 - e^{mt}$

۱۵ ـ مایع اشباعی در داخل لوله فلزی می‌گذرد که در یک نقطه آن شار حرارتی زیادی برروی جداره بیرونی اعمال می‌شود به نحوی که جوشش جابه‌جایی رخ دهد. مقدار حرارت کل دریافتی توسط سیال مطابق کدام عبارت بیان می‌شود؟



۱) $\left(\frac{Q}{A}\right)_{\text{کل}} = \left[\left(\frac{Q}{A}\right)_{\text{جوشش}} * \left(\frac{Q}{A}\right)_{\text{جابه‌جایی}}\right]^{\frac{1}{2}}$

۲) $\left(\frac{Q}{A}\right)_{\text{کل}} = \frac{1}{2}\left[\left(\frac{Q}{A}\right)_{\text{جوشش}} + \left(\frac{Q}{A}\right)_{\text{جابه‌جایی}}\right]$

۳) $\left(\frac{Q}{A}\right)_{\text{کل}} = \left(\frac{Q}{A}\right)_{\text{جوشش}} * C_2 + \left(\frac{Q}{A}\right)_{\text{جابه‌جایی}} * C_1$ (C_1 و C_2 دو ثابت‌اند)

۴) هر کدام از دو مقدار $\left(\frac{Q}{A}\right)_{\text{جابه‌جایی}}$ یا $\left(\frac{Q}{A}\right)_{\text{جوشش}}$ که بزرگ‌تر بود = $\left(\frac{Q}{A}\right)_{\text{کل}}$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۹-۱۲ پاسخ سؤالات آزمون ۸۷

۱ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

چون لوله گرم‌تر از هوای بیرون است لذا جریان هوا اطراف این لوله مطابق شکل سؤال ۸ خواهد بود. بنابراین بالاترین ضریب انتقال حرارت در پایین لوله خواهد بود. از این‌رو تشکیل کندانس از بخش پایین لوله شروع می‌شود و سپس در تمام سطح مقطع لوله گسترش می‌یابد.

۲ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

رجوع شود به معادله (۶-۴۳)

۳ـ گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

در طراحی مبدل‌های حرارتی از ۸ پارامتر دبی جرمی سیال گرم، دبی جرمی سیال سرد دمای سیال گرم و ورودی و خروجی، دمای سیال سرد ورودی و خروجی، سطح مبدل حرارتی و ضریب کلی انتقال حرارت ۶ پارامتر باید معلوم باشند. در این مسأله چون در مبدل اول ۶ پارامتر معلوم هستند لذا از حل معادلات می‌توان T_1 و T_2 را نیز محاسبه کرد. با معلوم شدن دماهای T_1 و T_2 در مبدل دوم هم عده معلومات به ۶ پارامتر می‌رسد لذا از معادلات مبدل دوم می‌توان دماهای T_3 و T_4 را به‌دست آورد.

پس از به‌دست آوردن دماهای T_2 و T_3 به‌راحتی و با موازنه انرژی می‌توان دمای T_5 را به‌دست آورد.

۴ـ گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

معادله (۲-۵۱) $T_0 = T_1 + \frac{qL^2}{2k}$ دمای سطح عایق

۵ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

ΔT کوچک‌تر $\rightarrow$ h بزرگ‌تر

۶ـ گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$E_{\lambda G}$ = توان گسیل جسم خاکستری

$E_{\lambda b}$ = توان گسیل جسم سیاه

$E_{\lambda G} = \varepsilon E_{\lambda b}$ (ε جسم خاکستری مستقل از λ است)

برای محاسبه λ_{max} جسم خاکستری از $E_{\lambda G}$ نسبت به λ مشتق می‌گیریم و برابر صفر قرار می‌دهیم:

$$\frac{\partial E_{\lambda G}}{\partial \lambda} = 0 \quad \Rightarrow \quad \varepsilon \frac{\partial E_{\lambda G}}{\partial \lambda} + E_{\lambda G} \frac{\partial \varepsilon}{\partial \lambda} = 0$$

چون ε جسم خاکستری مستقل از λ است لذا $\frac{\partial \varepsilon}{\partial \lambda} = 0$ است.

بنابراین معادله فوق به‌فرم زیر ساده می‌شود:

$$\frac{\partial E_{b\lambda}}{\partial \lambda} = 0 \quad \rightarrow \quad \lambda_{max\ \text{جسم خاکستری}} = \lambda_{max\ \text{جسم سیاه}}$$

۷ـ گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۶ ـ کدام عامل موجب افزایش بیشتر میعان در یک چگالنده می‌شود؟

۱) کاهش ΔP سیالی که تغییر فاز ندارد.

۲) انتخاب آرایش ناهمسو برای حرکت دو سیال

۳) هر اقدامی که منتهی به کاهش ضخامت لایه مرزی در سیال با تغییر فاز شود.

۴) هر اقدامی که منتهی به کاهش ضخامت لایه مرزی در سیال بدون تغییر فاز شود.

۷ ـ مهم‌ترین دلیل افزودن تعداد پوسته در یک مبدل پوسته و لوله‌ای چیست؟

۱) کوچک بودن ضریب تصحیح LMTD

۲) افزایش مقدار حرارت انتقال یافته

۳) کاهش ΔP سیال لوله

۴) کمبود سطح انتقال حرارت

۸ ـ توان صدور یک جسم سیاه در λ_{max} با دمای مطلق آن چه رابطه‌ای دارد؟

۱) با دمای مطلق جسم بستگی دارد.

۲) با عکس دمای مطلق جسم بستگی دارد.

۳) با توان چهارم دمای مطلق جسم بستگی دارد.

۴) با توان پنجم دمای مطلق جسم بستگی دارد.

۹ ـ هوای گرم در مجاورت یک صفحه عمودی در اثر انتقال حرارت جابه‌جایی طبیعی بالا می‌رود. اگر y فاصله افقی از روی صفحه باشد، حداکثر سرعت سیال در کجا اتفاق می‌افتد؟

۱) در $y > \frac{\delta_t}{2}$

۲) در $y = \frac{\delta_t}{2}$

۳) در $y < \frac{\delta}{2}$

۴) در $y = \delta$

۱۰ ـ سیالی با دمای T_1 درون لوله‌ای فلزی جریان دارد. اگر سرعت حرکت سیال در شرایط لوله‌ای دو برابر شود، نسبت انتقال حرارت جابه‌جایی به هدایتی:

۱) نصف می‌شود. ۲) دو برابر می‌شود. ۳) 1.6 برابر می‌شود. ۴) تغییری نمی‌کند.

۱۱ ـ جسم کروی شکلی با قطر اولیه معلوم در معرض هوای کاملاً ساکنی قرار دارد. اگر قطر کره 2 برابر شود مقدار ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی و مقدار حرارت انتقال یافته آن با هوای اطراف چگونه تغییر می‌کند؟

۱) هر دو کاهش می‌یابند.

۲) هر دو افزایش می‌یابند.

۳) ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی افزایش و مقدار انتقال حرارت کاهش می‌یابد.

۴) ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی کاهش و مقدار انتقال حرارت افزایش می‌یابد.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۱۲ ـ سیالی بین دو استوانه هم‌محور افقی محبوس است. مسیر حرکت سیال در اثر نیروی محرکه شناور
کدام گزینه صحیح است؟

۱) استوانه داخلی سرد و استوانه خارجی گرم است.
۲) استوانه داخلی گرم است و استوانه خارجی سرد است.
۳) نیمه پایین استوانه‌ها گرم و نیمه بالایی سرد است.
۴) نیمه چپ استوانه‌ها گرم و نیمه راست سرد است.

۱۳ ـ استوانه داغی در هوای محیط قرار گرفته است. در کدام‌یک از حالات زیر استوانه زودتر سرد می‌شود
۱) استوانه افقی باشد و با پنکه‌ای هوا را از پایین به بالا روی استوانه بدمیم.
۲) استوانه عمودی باشد و با پنکه‌ای هوا را از بالا به پایین روی استوانه بدمیم.
۳) استوانه افقی باشد و با پنکه‌ای هوا را از بالا به پایین روی استوانه بدمیم.
۴) استوانه عمودی باشد و با پنکه‌ای هوا را از پایین به بالا روی استوانه بدمیم.

۱۴ ـ بین یک سطح جامد و سیال مجاور آن، انتقال گرما فقط به‌صورت جابه‌جایی آزاد صورت گیرد. علت ا
۱) تفاوت چگالی جامد و سیال ۲) تراکم‌پذیری سیال ۳) وجود نیروی جاذبه ۴)

۱۵ ـ در جابه‌جایی آزاد روی یک صفحه تخت عمودی در رژیم لایه‌ای رابطه h_x و x (فاصله از لبه صفحه)
۱) $h_x \propto x^{-\frac{1}{4}}$ ۲) $h_x \propto x^{-\frac{1}{2}}$ ۳) $h_x \propto x^{\frac{1}{4}}$ ۴)

۸ ـ گزینه ۴ صحیح می‌ب
معادله (۷-۴)
معادله (۷-۵)
با جایگزینی معادله (۷-۵)

۹ ـ گزینه ۳ صحیح می‌با
معادله (۶-۳۲)

۱۰ ـ گزینه ۲ صحیح می‌با

۱۱ ـ گزینه ۴ صحیح می‌با
لذا با افزایش D ضریب انتق

۱۲ ـ گزینه ۲ صحیح می‌با
چون اطراف استوانه داخلی
استوانه خارجی رو به پایین

۱۳ ـ گزینه ۱ صحیح می‌با
هر چه طول در مسیر جریا
حرکت کند (به فرض آنکه

۱۴ ـ گ؟
مطابق تعریف عدد گراشف
ـ سیال تراکم‌پذیر باشد (0
ـ نیروی جاذبه وجود داشته

۱۵ ـ گزینه ۱ صحیح می‌باش
طبق معادله (۶-۴۳)

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

یادداشت

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۹-۱۴ پاسخ س

۱ـ گزینه ۱ ص

معادله (۲-۵۰)

طبق معادله فوز

۲ـ گزینه ۱ ص

۳ـ گزینه ۲ ص

معادله (۲-۸۹)

۴ـ گزینه ۳ ص

با کاهش خاصی

بیشتر از h چگال

۵ـ گزینه ۳ ص

دو خط پایین د

فقط یک بار طو

گرم) است.

۶ـ گزینه ۴ ص

برای ازدیاد میز

مقاومت وجود د

که تغییر فاز نم

صرف‌نظر هستند

تغییر فاز نمی‌ده

لازم به ذکر اس

موجب کاهش h

۷ـ گزینه ۱ ص

افزایش پاس‌های

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

یادداشت

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

یادداشت

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497