شکل ۷-۱

سپس پاسخ‌های مربوط به انتقال حرارت جابه‌جایی در زیر آن روی تخته با کمک هنرجویان در هنگام تعریف نوشته می‌شود.

۲۰ درصد حرارت انتقالی در ریخته‌گری توسط این نوع از انتقال حرارت انجام می‌شود.

هدایتی (رسانایی)	جابجایی (همرفت)	تشعشعی(تابش)
میله داغ	گرمای بخاری داخل اتاق	
دسته ماهیتابه داغ	گرمای شوفاژ داخل اتاق	
دسته کتری در حال جوش	گرمای اطراف کوره ذوب	
سیخ کباب	گرمای حاصل از وسایل الکتریکی	

۳ـ انتقال حرارت به روش تشعشع یا تابشی: همان‌گونه که از مثال‌ها مشخص است در این نوع انتقال حرارت انرژی حرارتی به‌صورت امواج با ماهیتی نظیر امواج نورانی منتقل می‌شود. به‌طور کلی هر چه درجه حرارت جسم بیشتر باشد این نوع انتقال بیشتر خواهد بود. در درجه حرارت‌های بالاتر، انرژی تشعشعی با انرژی نورانی توام خواهد بود. به‌طوری که از روی رنگ جسم گداخته می‌توان کم و بیش به درجه حرارت آن پی برد. لازم به توضیح است که هر چه جسم تیره‌تر و مایل به رنگ سیاه باشد انرژی حرارتی به‌صورت تشعشع را بهتر جذب می‌کند و برعکس جسم روشن و مایل به سفید انرژی تشعشعی را کمتر جذب می‌کند. در کار عملی کارگاهی یکی از راه‌های بالا بردن راندمان کوره دوار برای ذوب چدن افزایش قدرت تشعشع در این کوره‌ها می‌باشد.

گرما از خورشید از طریق یک فضای وسیع خلاء و تهی به زمین می‌رسد و این مسیر را به‌صورت اشعه (امواج الکترومغناطیس)، مانند نور ولی نامرئی طی می‌کند. هر جسم گرم، حتی انسان از خود اشعه‌هایی گسیل می‌کند. اجسام سرد گرما را جذب می‌کنند، بنابراین مثل همیشه انتقال خالص مربوط به گرما از جسم گرم به جسم سرد صورت می‌گیرد. از این‌رو، گرما همانند نور از طریق تابش و به خط مستقیم منتقل می‌شود. برای همین وقتی مقابل آتش می‌نشینیم، صورت ما از گرما سرخ می‌شود و پشت ما سرد است. کارایی یک جسم در تابش یا جذب گرما به رنگ سطح آن بستگی دارد (که به آن ضریب صدور می‌گویند). جسم سیاه هر تابشی را به سرعت و با کارایی زیاد جذب می‌کند. توانایی تابش انرژی گرمایی از سطح؛ بستگی نزدیکی به توانایی جذب انرژی تابشی توسط آن سطح دارد. جسم سیاه هنگامی که گرم است، یک تابنده عالی است. به همین دلیل پره‌های خنک کننده موتورها را همواره رنگ سیاه می‌زنند. اما جسم سفید نه جذب‌کننده خوبی است و نه تابشگر خوبی است. به عنوان مثال سطح نقره مانند اغلب فلزات همانند جسم سفید عمل می‌کنند. برای عایق بندی اتاقک‌های زیر شیروانی از یک لایه ورق آلومینیوم نیز استفاده می‌شود. ورق آلومینیوم از تابش گرمای داخل به خارج در زمستان و از تابش گرمای خارج به داخل در تابستان جلوگیری می‌کند ۵۰٪ حرارت انتقالی در ریخته‌گری نیز از این طریق انجام می‌شود.

عوامل مؤثر در ضریب صدور به صافی و ناصافی(براق و صیقلی)، تمیزی و کثیفی و بالاخره رنگ جسم بستگی دارد.

پاسخ‌های مربوط به انتقال حرارت تشعشعی نیز در زیر آن روی تخته با کمک هنرجویان در هنگام تعریف نوشته می‌شود.

هدایتی (رسانایی)	جابجایی (همرفت)	تشعشعی(تابش)
میله داغ	گرمای بخاری داخل اتاق	تابش نور خورشید
دسته ماهیتابه داغ	گرمای شوفاژ داخل اتاق	تشعشع المنت داغ بخاری الکتریکی
دسته کتری در حال جوش	گرمای اطراف کوره ذوب	تشعشع فلز ذوب شده
سیخ کباب	گرمای حاصل از وسایل الکتریکی	تشعشع میله سرخ شده

دانشمندان زیادی روی پدیده انتقال حرارت کار کردند اما در بین آنها آقای ژوزف فوریه با توجه به کشفیات دانشمندان دیگر و تجربیات آنها هر یک از راه‌های انتقال حرارت را طبقه بندی کرد و برای انتقال حرارت به روش هدایت روابطی که از راه آزمایش به‌دست آمده بود را وضع نمود، و سپس با استفاده از روابط ریاضی آنها را به

حالت‌های مختلف تعمیم داد.

قسمت هشتم درس: خلاصه درس و تعیین تکلیف برای جلسه بعد

ـ امروز با مفاهیم انرژی حرارت و درجه حرارت مجدداً آشنا شدید و تغییر واحدها در این خصوص مثل ژول و کالری را تمرین کردید.

ـ همچنین با مفهوم انتقال حرارت و انواع آن، انتقالی، جابجایی و تشعشعی آشنا شدیم. و در هر زمینه مثال‌هایی بیان شد.

و با ذکر اینکه در ابتدا جلسه آینده امتحان تبدیل واحدها گرفته می‌شود، تکالیف زیر را به هنرجویان می‌دهید تا برای جلسه آینده روی برگه‌های مجزا حل کنند و با خود بیاورند.

۱ـ ۰/۵ ساعت چند ثانیه است؟

۲ـ ۱/۵ کیلو کالری بیشتر است یا ۷۰۰۰ ژول؟

۳ـ ۵۰ کالری چند ژول است؟

۴ـ ۳۰۰ سانتی‌متر چند متر است؟

۵ـ ۳/۲ متر مربع چند سانتی‌متر مربع است؟

با توجه به توضیحات انواع انتقال حرارت، در محیط اطراف خودتان، منزل، بیرون از هنرستان،داخل کارگاه و یا هرجای دیگر مواردی که هر سه نوع انتقال حرارت را با هم داشته باشیم، با تفکیک نوع انتقال حرارت بنویسید؟

هفته دوم: شناخت رابطه انتقال حرارت به طریق هدایت و محاسبه ضریب هدایت گرمایی

این جلسه مربوط به تدریس صفحات ۴ تا ۹ کتاب است و به قسمت‌های زیر نقسیم می‌گردد.

۱ـ آزمون کلاسی، حضور و غیاب و پاسخ آزمون

۲ـ معادله فوریه و پارامترهای آن

۳ـ تبدیل واحدها

۴ـ ضریب هدایت گرمای متوسط

۵ـ توزیع دما در ضخامت دیواره

۶ـ خلاصه درس و تعیین تکلیف برای جلسه بعد

قسمت اول درس:

در ابتدای جلسه پس از استقرار هنرجویان، در برگه‌های A۵ تهیه شده از قبل آزمون کلاسی گرفته می‌شود. نمونه برگه آزمون در زیر مشاهده می‌شود.

نام و نام خانوادگی:

۱۰۵۰۰۰ ژول چند کالری و چند کیلوکالری است؟

پاسخنامه

ژول	کالری	کیلوکالری
۱۰۵۰۰۰		

در ضمن زمان دادن برای پاسخ‌گویی به آزمون توسط هنرجویان، فرصت برای حضور و غیاب وجود دارد. پس از فرصت کافی برای آزمون کلاسی برگه‌ها برای تصحیح و نمره دادن جمع می‌شود. همراه آن برگه‌های تکلیف نیز جمع می‌گردد. برای تفهیم هنرجویان سؤال آزمون کلاسی روی تخته نوشته شده و حل می‌گردد. بنابه اطلاعات موجود تناسب بسته می‌شود.

ژول	کالری
۴/۲	۱
۱۰۵۰۰۰	x

$$x = ۱ \times ۱۰۵۰۰۰ \div ۴/۲ = ۱۰۵۰۰۰ \div ۴/۲ = ۲۵۰۰ \text{ cal}$$

و برای تبدیل کالری به کیلو کالری

کالری	کیلوکالری
۱۰۰۰	۱
۲۵۰۰	x

$$x = ۱ \times ۲۵۰۰ \div ۱۰۰۰ = ۲۵۰۰ \div ۱۰۰۰ = ۲/۵ \text{ cal}$$

و نهایتاً پاسخ‌ها روی تخته و در جدول زیر درج می‌شود.

ژول	کالری	کیلو کالری
۱۰۵۰۰۰	۲۵۰۰	۲/۵

سپس از روی دفتر به‌صورت تصادفی نام هنرجو خوانده می‌شود و در خصوص تمرین جلسه گذشته سؤال می‌شود. این‌کار برای چند هنرجوی دیگر تکرار می‌شود. پاسخ‌هایی مثل دیگ پر از آب روی آتش، که آتش انتقال حرارت تشعشعی، آب انتقال حرارت جابجایی و بدنه دیگ انتقال حرارت هدایتی دارد، یا کوره زمینی روشن برای ذوب فلز که شعله انتقال حرارت تشعشی، مذاب انتقال حرارت جابجایی و بوته انتقال حرارت هدایتی دارد، نمونه‌هایی از جواب‌های تکلیف جلسه گذشته می‌باشد. که با رسم شماتیک کوره و دیگ آب روی تخته انواع انتقال‌های حرارت نشان داده می‌شود.

با توجه به جواب‌هایی که هنرجویان می‌دهند امتیازی به آنها در دفتر حضور و غیاب منظور می‌گردد.

قسمت دوم درس:

برای آمادگی کلاس به شروع درس تخته پاک می‌شود و اهداف این جلسه روی تخته نوشته می‌شود.

هدف: یادگیری معادله انتقال حرارت به روش هدایت و نحوه استفاده از آن

سپس معادله فوریه روی تخته نوشته می‌شود و پارامترهای آن مشخص می‌گردد.

$$Q = K\frac{A.\Delta\theta.t}{d}$$

ـ معادلات فوریه از نتایج تجربی برای انتقال حرارت به روش هدایت حاصل شده است. آقای فوریه با آزمایشات تجربی که انجام داد به این نتیجه رسید که، مقدار حرارت انتقال یافته با سطح A مورد انتقال و زمان t با اختلاف دمای دو طرف جسم $\Delta\theta = \theta_۲ - \theta_۱$ مورد انتقال رابطه مستقیم دارد و این بدان معناست که هر چقدر سطح زیادتر باشد مقدار حرارت انتقالی بیشتر می‌شود. از طرفی مقدار حرارت انتقالی با فاصله‌ای که حرارت طی می‌کند رابطه معکوس دارد $\frac{۱}{d}$ یعنی هر چقدر طول یا ضخامت بیشتر باشد مقدار حرارت انتقالی کمتر و بالعکس

خواهد بود. یعنی:

$Q \propto \frac{At\Delta\theta}{d}$ از نظر ریاضی برای اینکه علامت تناسب به مساوی تبدیل شود باید در یک ضریب ثابتی ضرب شود که آن ضریب ثابت همان K است.

$$Q = K\frac{A.\Delta\theta.t}{d}$$

در این رابطه K ضریب تناسب بوده که مربوط به جنس جسم می‌باشد، این ضریب را «ضریب هدایت حرارتی» گویند.

برای تفهیم هنرجویان روی تخته یک میله رسم می‌گردد و توضیح داده می‌شود که یک طرف آن گرم می‌شود و حرارت از طریق میله به قسمت سرد میله منتقل می‌شود. پارامترهای مختلف معادله روی شکل به هنرجویان نشان داده می‌شود.

همین کار با رسم یک دیواره مسطح به‌عنوان دیواره یک کوره عملیات حرارتی رسم و پارامترها روی آن نشان داده می‌شود.

دانستنی‌های معلم

اثبات رابطه انتقال حرارت هدایتی برای جداره‌های تک لایه

$Q = KAt\frac{d\theta}{dx}$ از رابطه فوریه داریم:

$$Q = KAt\frac{d\theta}{dx} \Rightarrow Qdx = KAtd\theta \Rightarrow \int_{0}^{x} Qdx = \int_{\theta_1}^{\theta_2} KAtd\theta$$

$$\Rightarrow Qx\begin{cases} x \\ 0 \end{cases} = KAt\theta\begin{cases} \theta_2 \\ \theta_1 \end{cases} \Rightarrow Qx = KAt(\theta_2 - \theta_1)$$

$$Q = KAt\frac{\theta_2 - \theta_1}{x} \equiv Q = KAt\frac{\theta_2 - \theta_1}{d} \equiv Q = KAt\frac{\Delta\theta}{d}$$

دانستنی‌های معلم

عوامل مؤثر روی ضریب هدایت حرارتی

ضریب هدایت حرارتی گازها، مایعات و جامدات با فشار و دما تغییر می‌کند. ضریب هدایت حرارت گازها با ازدیاد دما افزایش می‌یابد در جامدات تأثیر درجه حرارت روی ضریب هدایت حرارت به علت اثر حرارت روی ساختار مولکولی و میکروسکوپی مثلاً ساختمان شبکه می‌باشد. اصولاً ضریب هدایت حرارت بلورهای نافلزی مثل کوارتز و کاربید سیلیسیم با ازدیاد دما کاهش می‌یابد در صورتی که ضریب هدایت حرارتی اجسام بی‌شکل نا فلزی

با ازدیاد دما افزایش می‌یابد، ضریب هدایت حرارت بیشتر فلزات با ازدیاد دما کاهش می‌یابد. آلیاژها دارای ضریب هدایت حرارت کمتری نسبت به فلزات سازنده خود هستند،زیرا فازهای موجود در ساختار آنها به‌صورت هادی‌های نافلزی عمل می‌کنند.

مثلاً فولاد ریخته شده شامل مواد مختلفی با ضرایب هدایت حرارت متفاوت هستند، فریت $K = ۷۳$، سمنتیت $K = ۱۰/۵$ و پرلیت $K = ۵۲$ در واحد $wm^{-۱}c^{-۱}$ می‌باشد.

قسمت سوم درس: واحدهای پارامترهای معادله انتقال حرارت

ـ واحدهای پارامترهای مختلف در معادله انتقال حرارت بایستی با هم متناسب باشند. بنابراین طبق معادله انتقال حرارت (که در زیر برای تعیین K تنظیم شده است) داریم:

$$K = \frac{Q.d}{A.\Delta\theta.t}$$

با جای‌گذاری واحدهای هر پارامتر واحد متناسب K مشخص می‌شود.

با توجه به این امر اگر Q برحسب کالری، d برحسب سانتی‌متر، A برحسب سانتی‌متر مربع و $\Delta\theta$ برحسب درجه سانتی‌گراد یا کلوین (اختلاف دو دما چه برحسب درجه سانتیگراد یا کلوین یکسان است) و t برحسب ثانیه باشد، واحد K برحسب $\frac{cal}{cm.c.s}$ خواهد بود. به هنرجویان تأکید می شود که در حل مسائل بایستی دقت کنند تا واحدهای پارامترهای مختلف با هم هماهنگ باشند.

حال اگر Q برحسب کیلوکالری، d برحسب متر، A برحسب مترمربع و $\Delta\theta$ برحسب درجه سانتی‌گراد یا کلوین و t برحسب ساعت باشد، واحد K برحسب $\frac{kcal}{m.c.hr}$ خواهد بود.

در نهایت اگر Q برحسب ژول، d برحسب متر، A برحسب مترمربع و $\Delta\theta$ برحسب درجه سانتی‌گراد یا کلوین و t برحسب ثانیه باشد، واحدK برحسب $\frac{J}{m.c.s} = \frac{w}{m.c}$ خواهد بود. دقت فرمایید که $W = \frac{J}{s}$ می‌باشد.

> به هنرجویان توضیح داده می‌شود که این نوع انتقال حرارت برای جداره‌های مسطح است که از رابطه فوریه محاسبه می‌شود. در انتقال حرارت جداره‌های مسطح حرارت از یک سمت وارد شده و از سمت دیگر خارج می‌شود. می‌توان گفت حرارت مسیر مستقیمی را طی می‌کند، نه اینکه از همه طرف حرارت به خارج منتقل شود. (شکل ۱ ـ ۱ کتاب)

مثال: با توجه به واحدهای d ، q ، t ، A ، Q مقدار K را از رابطه فوریه محاسبه نمایید؟

$$Q=\frac{KAt\Delta\theta}{d}\Rightarrow K=\frac{Q.d}{At\Delta\theta}\Rightarrow K=\frac{cal.cm}{cm^{۲}.s.c}\Rightarrow K=\frac{cal}{cm.s.c}$$

$$Q=\frac{KAt\Delta\theta}{d}\Rightarrow K=\frac{Q.d}{At\Delta\theta}\Rightarrow K=\frac{Kcal.m}{m^{۲}.hr.c}\Rightarrow K=\frac{Kcal}{m.hr.c}$$

مثال: از رابطه فوریه مقدار A را بدست آورید.

$$Q=\frac{KAt\Delta\theta}{d}\Rightarrow A=\frac{Q.d}{Kt\Delta\theta}$$

مثال: از رابطه فوریه مقدار $\theta_۲$ را بدست آورید.

$$Q=\frac{KAt(\theta_۲-\theta_۱)}{d}\Rightarrow Q=\frac{KAt\Delta\theta}{d}\Rightarrow \Delta\theta=\frac{Qd}{KAt}\Rightarrow \theta_۲-\theta_۱=\frac{Qd}{KAt}$$

$$\theta_۲=\frac{Qd}{KAt}+\theta_۱$$

مثال: جداره مسطح یک کوره از آجر نسوز و دیرگداز به طول $۳۵cm$ و ارتفاع $۵۰cm$ در سطوح داخلی و خارجی به ترتیب به اندازه $۱۴۵۰\ ^\circ C$ و $۴۰\ ^\circ C$ گرم شده است اگر ضخامت این جداره $۲۴cm$ و ضریب هدایت حرارتی آن به‌طور متوسط $K=۰/۰۰۹۲\frac{cal}{cm.c}$ باشد، مقدار حرارت انتقال یافته در مدت یک ثانیه را محاسبه نمایید.

$$A=a\times b\Rightarrow A=۳۵\times ۵۰\Rightarrow A=۱۷۵۰cm^{۲}$$

$$Q=\frac{KAt\Delta\theta}{d}\Rightarrow Q=\frac{۰/۰۰۹۲\times ۱۷۵۰\times ۱\times (۱۴۵۰-۴۰)}{۲۴}\Rightarrow Q=۹۴۵/۸۷$$

تبدیل واحدهای مختلف K به یکدیگر: برای تبدیل واحدهای مختلف K به همدیگر می‌توان به سادگی با به خاطر سپردن نسبت واحدهای مختلف مطابق جدول زیر و بستن تناسب اقدام کرد.

$$۱\frac{cal}{cm.c.s}=۴۲۰\frac{w}{m.c}$$

$$\frac{w}{m.c}\frac{kcal}{m.c.hr}=۱/۱۶۳$$

و یا با توجه به حفظ بودن نسبت واحدهای اصلی به روش زیر عمل نمود.

مثلاً اگر $\frac{cal}{cm.c.s}$ بخواهد به $\frac{w}{m.c}$ تبدیل شود به شکل زیر عمل می‌کنیم.

ابتدا واحد اولیه سمت چپ و واحدی که قرار است به آن واحد برسیم در سمت راست نوشته می‌شود به این صورت

cal		j	w
cm.c.s		m.c.s	m.c

صورت واحدهای تبدیلی در ابتدا به هم تبدیل می‌شوند، به‌گونه‌ای که واحدی که قرار است حذف شود به‌صورت تقسیم نوشته می‌شود. در مثال بالا قرار است cal حذف شود و j باقی بماند بنابر این رابطه‌ای بین j و cal نوشته، به‌گونه‌ای که cal در مخرج قرار گیرد.

cal	۴/۲ j	j	w
cm.c.s	۱cal	m.c.s	m.c

حال مخرج باید تبدیل شود، یعنی cm به m واحدهای دیگر c و s نیازی به تبدیل ندارند. در این مرحله واحدی که قرار است حذف شود به‌صورت تقسیم نوشته می‌شود،بنابراین رابطه بین m و cm نوشته می‌شود.

Cal	۴/۲ j	۱۰۰cm	J	W
cm.c.s	۱cal	۱m	m.c.s	m.c

در مرحله آخر اعداد صورت در هم ضرب و اعداد مخرج هم جداگانه در هم ضرب شده پس از تقسیم بر هم رابطه دو پارامتر بدست می‌آید.

$$\frac{۴/۲\times۱۰۰}{۱\times۱}=۴۲۰$$

یعنی $\frac{cal}{cm.c.s}=۴۲۰\frac{j}{m.c.s}$ است.

و به همین روش برای تبدیل واحدهای دیگر عمل می‌کنیم.

مثال: اگر $\frac{kcal}{m.c.hr}$ بخواهد به $\frac{w}{m.c}$ تبدیل شود به روش زیر عمل می‌کنیم.

Kcal	۱۰۰۰cal	۴/۲ j	۱hr	J	w
m.c.hr	۱kcal	۱cal	۳۶۰۰s	m.c.s	m.c

همانند روش قبلی واحدهایی که باید حذف شوند به‌صورت تقسیم نوشته شدند، با این تفاوت که در این رابطه ابتدا kcal به cal تبدیل شد سپس به ژول تبدیل گردید.

مانند روش قبلی صورت مجزا در هم ضرب و مخرج هم مجزا در هم ضرب می‌شوند، حاصل نوشته می‌شود.

$$\frac{۱۰۰۰\times۴/۲\times۱}{۱\times۱\times۳۶۰۰}=۱/۱۶۳$$

یعنی $۱\frac{kcal}{m.c.hr}=۱/۱۶۳\frac{j}{m.c.s}$ است.

مثال: یک $\frac{kcal}{m.c.hr}$ چند $\frac{cal}{cm.c.s}$ است.

Kcal	۱۰۰۰cal	۱m	۱hr	Cal
m.c.hr	۱kcal	۱۰۰cm	۳۶۰۰s	cm.c.s

$$\frac{۱۰۰۰\times۱\times۱}{۱\times۱۰۰\times۳۶۰۰}=۰/۰۰۲۷۷$$

یعنی $۱\frac{kcal}{m.c.hr}=۰/۰۰۲۷\frac{cal}{cm.c.s}$ است.

مثال: درجه حرارت‌های داخلی و خارجی یک کوره عملیات حرارتی (دیواره مسطح) به ترتیب برابر $۸۵۰^{\circ}C$ و $۳۰^{\circ}C$ است اگر ضخامت جداره این کوره ۲۵cm و ابعاد جداره نسوز ۴۰۰mm و ۶۰۰mm و ضریب هدایت حرارتی آن $۰/۵۱\frac{kcal}{m.c.hr}$ باشد در طول مدت ۴۵ دقیقه چه مقدار حرارت از این جداره به بیرون انتقال می‌یابد؟

به‌طور کلی برای حل مسائل فصل اول باید تمامی واحدهای صورت مسئله به واحدهای K در مسئله تبدیل شوند.

در این مسئله با توجه به واحد K، بایستی واحد Q، برحسب kcal و واحد A برحسب $m^{۲}$ و واحد d برحسب m و واحد زمان برحسب ساعت و واحد θ برحسب c باشد. بنابراین کلیه واحدهای موجود در مسئله را به واحدهای مذکور تبدیل می‌کنیم.

$\theta_{۱} = ۸۵۰^{\circ}C$

$\theta_{۲} = ۳۰^{\circ}C$

$\Delta\theta = ۸۵۰ - ۳۰ = ۸۲۰^{\circ}C$

برای تبدیل‌ها از تناسب استفاده می‌شود. واحدهای طول از سانتی‌متر به متر بایستی تبدل شوند.

متر	سانتیمتر
۱	۱۰۰
X	۲۵

بنابراین $X = ۱ \times ۲۵ \div ۱۰۰ = ۰/۲۵$

$$cm \Rightarrow \frac{۲۵}{۱۰۰} = ۰/۲۵m = d$$

به همین ترتیب واحدهای دیگر تبدیل و به‌صورت منظم بر تخته نوشته می‌شوند.

$$a = ۴۰۰mm \Rightarrow \frac{۴۰۰}{۱۰۰۰} = ۰/۴m$$

$$b = ۶۰۰mm \Rightarrow \frac{۶۰۰}{۱۰۰۰} = ۰/۶m$$

$$A = a \times b \Rightarrow A = ۰/۴ \times ۰/۶ \Rightarrow A - ۰/۲۴m^{۲}$$

$$K = ۰/۵۱ \frac{kcal}{m.c.hr}$$

$$t = ۴۵ min \Rightarrow \frac{۴۵}{۶۰} = ۰/۷۵hr$$

سپس پارامترها در معادله گذاشته شده و معادله حل می‌شود.

$$Q = \frac{KAt\Delta\theta}{d} \Rightarrow Q = \frac{۰/۵۱ \times ۰/۲۴ \times ۰/۷۵ \times (۸۵۰ - ۳۰)}{۰/۲۵} \Rightarrow Q = ۳۰۱/۱۰۴kcal$$

علاوه بر مثال فوق درصورت داشتن وقت مثال صفحه ۶ داخل کتاب و مثال‌های مشابه دیگر نیز برای هنرجویان حل می‌شود.

قسمت چهار درس: ضریب هدایت حرارتی متوسط

هنرآموز در حالی که هنرجویان در حال نوشتن مطالب از روی تخته هستند. به تدریج آنها را برای مبحث جدید مبنی بر اینکه در اثر تغییر دما مقدار هدایت حرارتی اجسام نیز تغییر می‌کند، آماده می‌کند.

ـ در حل این مسائل ضریب هدایت حرارتی اجسام ثابت درنظر گرفته شد ولی واقعیت این است هدایت حرارتی اجسام با تغییر درجه حرارت تغییر می‌کند و به‌هرحال می‌توان تصور کرد که وقتی دما در یک طرف جسم زیاد و در طرف دیگر آن کمتر است در طول مقطع جسم نیز دما در حال تغییر است. در این حالت هر مقطعی از جسم دارای هدایت حرارتی (ضریب K) خاص خود است که با دیگر مقاطع متفاوت خواهد بود.

ـ با توجه به این موضوع برای حل مسائل انتقال حرارت باید چه عددی را برای ضریب هدایت حرارت در معادله فوریه گذاشت؟ به هنرجویان برای فکر کردن به موضوع و پاسخ‌گویی فرصت داده می‌شود پاسخ‌ها به نحوی هدایت می‌شود تا هر یک مطرح کند که مقدار متوسطی را باید درنظر گرفت.

ـ این مقدار متوسط چگونه به‌دست می‌آید؟ (مکث کوتاهی می‌شود)

ـ در صورتی‌که ضریب هدایت حرارتی در دوطرف جسم داده شده باشد کافی است این دو ضریب را باهم جمع کرده بر ۲ تقسیم نماییم.

مثال: ضریب هدایت حرارتی جسمی در یک انتها $۴۰۰\,W/m.^{\circ}C$ و در انتهای دیگر $۳۵۰\,W/m.^{\circ}C$ است، ضریب هدایت حرارتی متوسط این جسم را حساب کنید.

$$\overline{K} = (۴۰۰ + ۳۵۰) \div ۲ = ۳۷۵\,W/m.^{\circ}C$$

ـ همچنین در صورت داشتن مشخصات حرارتی جسم از معادله زیر نیز می‌توان استفاده نمود: و روی تخته نوشته می‌شود.

$$\overline{K} = K_{\circ}(۱ + \alpha \frac{\theta_{۲} - \theta_{۱}}{۲})$$

و پارامترهای معادله توضیح داده می‌شود.

ـ که در آن $\overline{K}$ ضریب هدایت حرارتی متوسط و $K_{\circ}$ ضریب هدایت حرارتی در صفر درجه سانتی‌گراد، α ضریب ثابت تغییرات جسم (بر حسب درجه سانتیگراد $۱/^{\circ}C$) می‌باشد. $\theta_{۲}$ و $\theta_{۱}$ مانند قبل درجه حرارت‌های دو انتها (طرف) جسم می‌باشند. کافی است مشخصات جسم K و a را داشته باشیم و از دمای دوطرف جسم مقدار $\overline{K}$ را محاسبه کنیم.

ـ مثال اگر دوطرف یک جسم در دماهای ۵۰۰ درجه و ۲۵ درجه سانتی‌گراد باشد. با فرض $a = ۰/۰۰۰۵\ ۱/^{\circ}C$ و $K_{\circ} = ۰/۶\ cal/cm.^{\circ}C.S$ مقدار ضریب هدایت حرارتی متوسط آن را پیدا کنید.

ـ با گذاشتن ضرایب داده شده در معادله محاسبه ضریب هدایت متوسط می‌توان به سادگی مقدار ضریب هدایت متوسط را به‌دست آورد.

$$K = ۰/۶\ (\ ۱ + ۰/۰۰۰۵ \times (۵۰۰ - ۲۵)\ /۲) = ۰/۶۷۱۲۵\ cal/cm.^{\circ}C.S$$

ـ در محاسبات انتقال حرارت مقدار متوسط ضریب هدایت حرارتی به‌جای K در معادله فوریه گذاشته می‌شود. از جدول ۱ـ۱ صفحه ۷ کتاب ضریب هدایت حرارتی مواد مختلف ارائه شده است که می‌توانید از آن برای حل مسائل استفاده کنید.

جدول در کلاس مشاهده می‌شود و ضرایب هدایت حرارتی مواد مختلف با هم مقایسه می‌شود.

ـ مشاهده می‌کنید که هدایت حرارتی آلومینیوم بیش از ۲/۵ برابر هدایت حرارتی آهن می‌باشد.

قسمت پنجم درس: توزیع دما در ضخامت دیواره: (شیب حرارتی)

ـ با توجه به نکات گفته شده می‌توان فهمید که دما در ضخامت دیواره یا مسیر انتقال حرارت از طرف گرم به طرف قسمت سرد آن در حال کاهش است. با فرض ثابت بودن جنس دیواره و ضریب هدایت حرارتی در دیواره این کاهش دما به‌صورت خطی می‌باشد. یعنی با یک شیب ثابت از یک طرف به طرف دیگر دیواره دما در حال کاهش می‌باشد.

با جابه‌جا کردن پارامترهای معادله فوریه به شکل زیر

$$Q = \overline{K} \times \frac{A.(\theta_2 - \theta_1).t}{d}$$

$$\frac{Q}{t.\overline{K}.A} = \frac{\theta_2 - \theta_1}{d}$$

و فرض ثابت بودن مقادیر Q/t، $\overline{K}$ و A در طرف چپ معادله عدد ثابتی به‌دست می‌آید که نشان می‌دهد مقدار طرف راست نیز بایستی ثابت باشد. یعنی پس از ثبات دمایی (یعنی در حالتی که با گذشت زمان دمای دوطرف جسم تغییر نکند) مقدار $\frac{\theta_2 - \theta_1}{d}$ همواره ثابت خواهد بود. به وسیله این معادله می‌توان در فاصله‌های مختلف از هر طرف دیواره مقدار دمای داخل دیواره را تعیین نمود.

مقدار $\frac{\theta_2 - \theta_1}{d}$ را «شیب حرارتی» می‌گویند که به معنای «شیب خط توزیع درجه حرارت در ضخامت دیواره» می‌باشد.

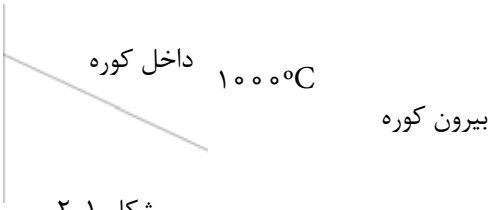
می‌دانید که $\theta_2 - \theta_1$ را می‌توان با $\Delta\theta$ (دلتا تتا) نیز نشان داد و گفت که:

$$\frac{\theta_2 - \theta_1}{d} = \frac{\Delta\theta}{d}$$

ـ برای مثال درنظر بگیرید شیب حرارتی در داخل دیواره یک کوره‌ای ۴۰ درجه سانتی‌گراد بر سانتی‌متر باشد. (علت این واحد از تعریف شیب حرارتی مشخص است چرا که واحد $\Delta\theta$ درجه سانتی‌گراد و واحد d (واحد طول) سانتی‌متر باشد).

ـ این بدین معنا است که اگر دیواره داخل کوره $1000^{\circ}C$ باشد، در عمق ۱ سانتی‌متری از دیواره کوره (به داخل جداره) درجه حرارت $40^{\circ}C$ کمتر می‌شود.

هنرآموز برای تفهیم موضوع روی تخته یک جداره دیواره را مطابق شکل صفحه بعد رسم می‌کند و با خط موربی روی دیواره می‌گوید درجه حرارت به سمت دیواره بیرونی کاهش می‌یابد.



شکل ۱-۲

از هنرجویان سؤال می‌شود که با شیب حرارتی گفته شده (روی تخته نوشته می‌شود $(\frac{\Delta\theta}{d}=۴۰^{\circ}C)$ دما در عمق یک سانتی‌متری از دیواره داخل کوره چقدر می‌باشد؟

در عمق ۱ سانتی‌متری دما $۱۹۶۰^{\circ}C$ ۱۰۰۰ - ۴۰ = ۹۶۰

سؤال را اگر در مورد عمق ۲ سانتی‌متری مطرح کنیم پاسخ شما چیست؟

هنرجویان هدایت می‌شوند که باز یک سانتی‌متر به ضخامت اضافه شده است و شیب حرارتی می‌گوید هریک سانتی‌متر ۴۰ درجه سانتی‌گراد

در عمق ۲ سانتی‌متری دما $۹۲۰^{\circ}C$ است ۹۶۰ - ۴۰ = $۹۲۰^{\circ}C$

در عمق ۸ سانتی‌متری دما چقدر خواهد بود؟

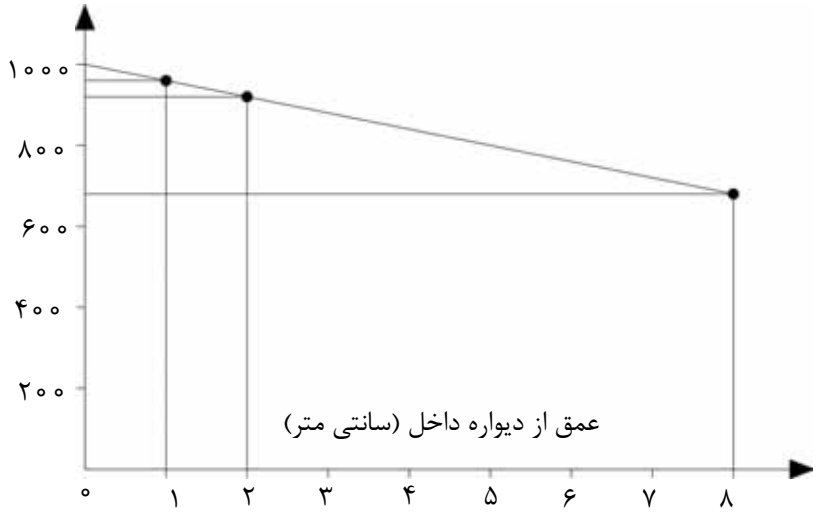
جواب‌های پراکنده‌ای داده خواهد شد. فرصتی داده شود تا هنرجویان به دنبال راه حلی برای پیدا کردن پاسخ بگردند.

برای پاسخ می‌توانید ۸ تا $^{\circ}C$ ۴۰ را از $۱۰۰۰^{\circ}C$ کم کنید یعنی:

مقدار کاهش دما از سطح داخل $^{\circ}C$ ۸ × ۴۰ = ۳۲۰

دما در عمق ۸ سانتی‌متری $۶۸۰^{\circ}C$ = ۱۰۰۰ - ۳۲۰

برای نمایش شیب حرارتی، دمای داخل دیواره رسم شده را در عمق‌های مختلف نوشته و با یک نقطه روی شکل مشخص می‌کنیم و با خط مستقیم این نقاط را به هم وصل می‌کنیم تا شیب حرارتی مشاهده گردد.



شکل۲-۲

قسمت ششم درس

ـ امروز با معادله فوریه و پارامترها آشنا شدید و تبدیل واحدهای مربوط به پارامترهای آن را یاد گرفتید.

$$Q = K\frac{A.\Delta\theta.t}{d}$$

ـ همچنین در این جلسه با ضریب هدایت حرارتی متوسط و نحوه تعیین آن آشنا شدید.

$$\overline{K} = K(۱ + \alpha\frac{\theta_۲ - \theta_۱}{۲})$$

ـ همچنین با مفهوم شیب حرارتی و نحوه تعیین آن آشنا شدید. $\frac{\theta_۲ - \theta_۱}{d} = \frac{\Delta\theta}{d}$

برای تمرین بیشتر مثال عنوان شده در صفحه ۹ کتاب در کلاس حل می‌شود.

برای هفته آینده از هنرجویان خواسته می‌شود تمرین‌های ۱ الی ۷ را برای جلسه آینده حل کنند و در برگه‌های جداگانه بیاورند. ضمن اینکه یادآوری شود که در ابتدای جلسه آینده آزمون کلاسی گرفته می‌شود.

هفته سوم: محاسبه شدت جریان حرارتی، هدایت حرارتی و مقاومت حرارتی و انتقال حرارت برای دیواره‌های مسطح چندلایه

این جلسه مربوط به تدریس صفحات ۱۰ تا ۱۲ کتاب است و به قسمت‌های زیر تقسیم می‌گردد.

۱ـ آزمون کلاسی، حضور و غیاب و پاسخ آزمون

۲ـ حل تمرین

۳ـ شدت جریان حرارتی

۴ـ شدت جریان حرارتی مخصوص و واحد آن

۵ ـ هدایت حرارتی دیواره

۶ـ مقاومت حرارتی

۷ـ تدریس انتقال حرارت برای دیواره مسطح چند لایه

۸ـ خلاصه درس و تعیین تکلیف جلسه آینده

قسمت اول درس

در ابتدای جلسه پس از استقرار هنرجویان برگه‌های آزمون از پیش تهیه شده توزیع می‌شود متن برگه‌ها به شرح زیر می‌باشد.

نام و نام خانوادگی

۱ـ یک دیواره از آجر نسوز به ابعاد ۶۰ × ۳۰ سانتی‌متر در مجاورت یک منبع حرارتی قرار دارد چنانچه حرارت داخل این دیواره ۱۴۰۰ $^{\circ}C$ و ضریب هدایت حرارتی متوسط آجرنسوز به‌طور متوسط $\overline{K} = ۰/۰۰۱۴ cal/cm^{\circ}Cs$ باشد. مطلوبست تعیین ضخامت دیواره کوره به نحوی که دمای پشت کوره ۶۰ $^{\circ}C$ باشد و حرارت انتقال یافته در هر دقیقه ۱۵ کیلوکالری باشد.

در ضمن زمان دادن برای پاسخ‌گویی به آزمون توسط هنرجویان، فرصت برای حضور و غیاب وجود دارد. برای حل مسئله ۱۰دقیقه فرصت داده شود. سپس برگه‌های آزمون و تکالیف جمع‌آوری می‌شود.

قسمت دوم درس

برای هنرجویان سؤال آزمون در کلاس حل می‌شود.

فرضیات مسئله

$$A = ۳۰ \times ۶۰ = ۱۸۰۰ cm$$

$$\left.\begin{array}{l}\theta_۲ = ۱۴۰۰^{\circ}C \\ \theta_۱ = ۶۰^{\circ}C\end{array}\right\} \Rightarrow \Delta\theta = ۱۴۰۰ - ۶۰ = ۱۳۴۰^{\circ}C$$

$$\overline{K} = ۰/۰۰۱۴ cal/cm^{\circ}Cs$$

برای تطابق واحد حرارت با واحد ضریب $\overline{K}$ واحد آن به کالری تبدیل می‌شود. برای تطابق واحد زمان واحد ضریب $\overline{K}$، واحد آن به ثانیه تغییر داده می‌شود.

$Q = ۱۵Kcal = ۱۵۰۰۰cal$

$t = ۱ \text{ دقیقه} = ۶۰s$

با گذاشتن اعداد در معادله اول فوریه خواهیم داشت: $Q = \frac{K.A.\Delta\theta.t}{d}$

$$۱۵۰۰۰ = \frac{۰/۰۰۱۴ \times ۱۸۰۰ \times ۶۰ \times (۱۴۰۰ - ۶۰)}{d}$$

$$۱۵۰۰۰ = \frac{۲۰۲۶۰۸}{d} \Rightarrow d = \frac{۲۰۲۶۰۸}{۱۵۰۰۰}$$

$d = ۱۳/۵cm$

ضمن فرصت دادن به هنرجویان برای سؤال‌کردن در خصوص نحوه حل مسئله، تخته برای حل مسائل کتاب پاک گردد و مسائل ۳ و ۴ انتهای فصل ۱ کتاب در کلاس حل شود.

حل مسئله سوم: صورت مسئله در کلاس خوانده می‌شود و فرضیات مسئله به شرح زیر لیست می‌گردد.

ـ ضریب هدایت حرارتی یک دیواره از آجر شاموتی، نسبت به حرارت تغییر می‌کند و از معادله $K = ۰/۸۱۳ + ۰/۰۰۰۵۸۲\theta$ (برحسب $\frac{w}{m^\circ c}$) تعیین می‌شود. اولاً مقدار این ضریب را در $۲۵^\circ C$ به‌دست آورید.

فرضیات مسئله

$$K = ۰/۸۱۳ + ۰/۰۰۰۵۸۲\theta \frac{w}{m^\circ C}$$

$\theta = ۲۵^\circ C$

$K = ? \frac{w}{m^\circ C}$

کافی است در معادله K داده شده مقدار θ یعنی $۲۵^\circ C$ را بگذاریم و آن را حل نماییم.

$$K_{۲۵} = ۰/۸۱۳ + ۰/۰۰۰۵۸۲ \times ۲۵ \Rightarrow K_{۲۵} = ۰/۸۲۷۵۵ \frac{w}{m^\circ C}$$

ضریب هدایت حرارتی در دمای $۲۵^\circ C$ برابر خواهد بود با ۰/۸۲۷۵۵ وات بر متر بر درجه سانتی‌گراد.

ـ ادامه مسئله قسمت دوم، ثانیاً مقدار متوسط آن را ($\overline{K}$) در فاصله دمایی ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد را محاسبه و تعیین کنید.

ـ مقدار K برای دمای $۲۰۰^\circ C$ و $۱۰۰۰^\circ C$ را با گذاشتن این دماها در معادله K به‌دست می‌آوریم. مطابق این: