

انتقال حرارت

ویژه رشته های:

مهندسی شیمی، مهندسی بیوتکنولوژی،

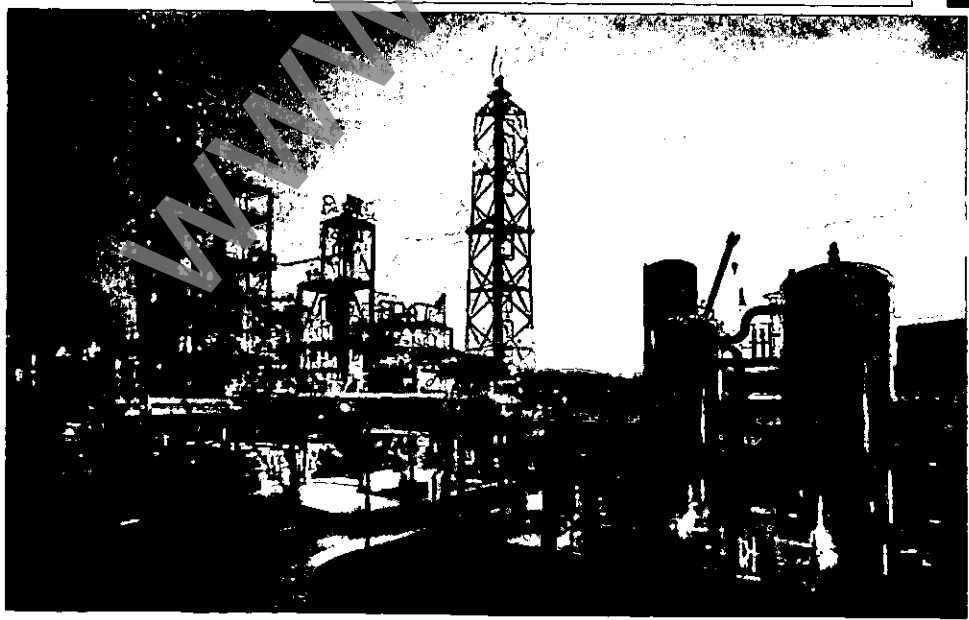
مهندسی فراوری و انتقال گاز

خلاصه مطالب درسی

نکات ویژه کنکوری

مجموعه سؤالات طبقه بندی شده موضوعی

کنکور کارشناسی ارشد با پاسخ تشریحی



بهزاد خداکرمی

دکترای مهندسی شیمی از دانشگاه صنعتی امیرکبیر

مهندسی شیمی

● کلیه حقوق قانونی و شرعی برای ناشر محفوظ است.

● تکثیر تماماً یا قسمتی از این اثر به صورت حروفچینی، چاپ مجدد، چاپ افست، پلی‌کپی، فتوکپی و انواع دیگر چاپ ممنوع است.

● این اثر مشمول قانون حمایت از مؤلفان، مصنفان و هنرمندان مصوب سال ۱۳۴۸ است. هر کس تمام یا قسمتی از این اثر را بدون اجازه ناشر، نشر، پخش یا عرضه کند مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.



سری کتاب‌های راهیان ارشد

انتشارات آزاده

کنکور کارشناسی ارشد انتقال حرارت

● ویژه رشته مهندسی شیمی

□ تألیف: دکتر بهزاد خداکریمی

□ ناظر فنی و چاپ: انور مددستانی

□ حروفچینی: انتشارات آزاده

□ لیتوگرافی: رسام گرافیک

□ چاپ: مروی

□ صحافی: صالح‌حانی

□ تیراژ: ۳۰۰۰ نسخه

□ چاپ اول: بهار ۱۳۹۲

□ ناشر: انتشارات آزاده

□ شابک: ۹-۷۲۳-۵۰۱-۹۶۴-۹۷۸

□ بها: ۲۴۰۰۰ تومان

مسئولیت مطالب کتاب به عهده مؤلف و حق چاپ و نشر برای ناشر محفوظ است.

● مرکز پخش: انتشارات آزاده - خیابان انقلاب، مقابل دانشگاه تهران (بین خ فخراری و خ دانشگاه)، جنب بانک ملت، پاساژ پلاک ۱۲۰۲، طبقه زیرهمکف - کدپستی ۱۳۱۴۷۵۷۱۳ | تلفن: ۶۶۴۱۴۳۷۴ - ۴۱۵۷۵۴ - ۶۶۴۱۴۵۱۰ | دورنویس: ۶۶۴۱۴۵۱۰

سرشناسه	: خداکریمی، بهزاد
عنوان و نام پدیدآور	: انتقال حرارت: ویژه رشته مهندسی شیمی / مؤلف بهزاد خداکریمی
مشخصات نشر	: تهران: آزاده، ۱۳۹۲.
مشخصات ظاهری	: ۶۰۰ ص. مصور، جدول، نمودار.
فروست	: کنکور کارشناسی ارشد. سری کتاب‌های راهیان ارشد.
شابک	: ۹-۷۲۳-۵۰۱-۹۶۴-۹۷۸
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیا
موضوع	: دانشگاه‌ها و مدارس عالی -- ایران -- آزمون‌ها.
موضوع	: گرما -- انتقال -- آزمون‌ها و تمرین‌ها (عالی).
موضوع	: گرما -- انتقال -- راهنمای آموزشی (عالی).
موضوع	: آزمون دوره‌های تحصیلات تکمیلی -- ایران.
رده‌بندی کنگره	: ۱۳۹۲ ۱۸ الف ۳۵ خ / LB ۲۳۵۴
رده‌بندی دیویی	: ۳۷۸/۱۶۶۴
شماره کتابشناسی ملی	: ۳۱۳۸۱۱۳

برای خرید online به آدرس زیر مراجعه کنید:
www.rahian-arshad.com

یادداشت ناشر

«سری کتاب‌های آمادگی برای کنکور کارشناسی ارشد» در بیش از ۳۰۰ جلد، حاصل تلاش فراوان، دقت نظر و انتقال دانش و تجربه بیش از یکصد نفر از نیروهای جوان و متخصص با تحصیلات عالی دانشگاهی از دانشگاه‌های معتبر صنعتی امیرکبیر، علم و صنعت، صنعتی شریف و تهران با تجربه تدریس در دانشگاه‌ها و مؤسسات برتر کنکوری می‌باشد. در این مجموعه، سعی شده تا با بهره‌گیری از کادر فنی مجرب نشر، کیفیت کار را از نظر علمی و فنی بالا برده و به ویژه از نظر حروفچینی و صفحه‌بندی متن، کتاب را نسبت به موارد مشابه متمایز نماییم.

با توجه به نکات یاد شده، پیش‌بینی می‌شد که راهنمایان کنکور کارشناسی ارشد با مطالعه این مجموعه، ضمن صرفه‌جویی در وقت برای تهیه منابع معتبر، با مفاهیم و نکات ضروری مفیدی آشنا شوند که این مهم، با توجه به استقبال خوب و تماس‌های تشکرآمیز خوانندگان محترم در این مدت، بر ما مشخص شد.

راهنمای ارشد اولین سعی و تلاش به سبک خود بوده برای ارائه مجموعه‌ای کاملی از بهترین خلاصه درس‌ها، نکات کاملاً ویژه کنکوری و تست‌های طبقه‌بندی شده موضوعی سال‌ها کنکور کارشناسی ارشد با پاسخ تشریحی براساس سرفصل‌های مصوب شورای عالی برنامه‌ریزی و همچنین سرفصل‌های متداول در دانشگاه‌ها، که به عنوان مرجعی معتبر برای استفاده داوطلبان کنکور دانشگاه‌های سراسری و آزاد (برای اولین بار) به بازار عرضه شده است.

انتشارات آزاده از کلیه عزیزانی که به هر نوعی در تولید و توزیع این مجموعه به‌همی داشته‌اند صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نماید و نیز کلیه کاستی‌ها و اشکالات موجود را برعهده می‌گیرد و به همین منظور و برای رفع آن‌ها، در انتظار دریافت نظرات انتقادی از استادان گرانقدر، دانشجویان و دیگر خوانندگان این مجموعه و حتی همکاران است.

مدیر انتشارات آزاده

جعفر بدوستانی

درباره کتاب‌های «راهیان ارشد»

سری کتاب‌های آمادگی برای کنکور کارشناسی ارشد «راهیان ارشد» بی شک جزو اولین کتاب‌هایی هستند که در این زمینه به صورتی کامل طبقه‌بندی و تألیف گردیده‌اند.

لزوم تهیه این مجموعه، نیاز مبرم دانشجویان علاقمند به ادامه تحصیل و عدم دسترسی آنها به مراجع جامع و مفید علمی بود، لذا بر آن شدیم تا با همراهی گروه مؤلفین دانشگاهی، سری کتاب‌های «راهیان ارشد» را منتشر نموده و در اختیار شما دانشجویان عزیز قرار دهیم. این انتشارات با کمک گروه مؤلفین که بیشتر از نخبگان و برگزیدگان دانشگاهی هستند، توانسته این کار بزرگ را به انجام برساند.

برای هر رشته، چند جلد کتاب مربوط به دروس تخصصی آن رشته تهیه شده است. فصل‌های کتاب مطابق با سرفصل‌های آموزش عالی بوده و هر یک از آنها دارای سه بخش است:

بخش اول: خلاصه مطالب درس و نکات ویژه کنکور.

بخش دوم: تست‌های طبقه‌بندی شده موضوعی کنکورهای سراسری و دانشگاه آزاد اسلامی.

بخش سوم: پاسخ تشریحی تست‌ها.

این مجموعه شامل تست‌های کنکور سراسری و آزاد و تألیفی به همراه پاسخ‌های تشریحی می‌باشد و هر سال پس از برگزار شدن آزمون‌ها، سؤالات به همراه پاسخ تشریحی در هر چاپ جدید به انتهای کتاب افزوده می‌شود.

از آنجایی که هیچ کتابی عاری از نقص نیست، از اساتید و دانشجویان گرامی تقاضا داریم اشتباهات احتمالی ما را همراه با انتقادات و پیشنهادات خود به نشانی ناشر ارسال کنند تا در چاپ‌های بعدی از آنها استفاده شود و امیدواریم این مجموعه با کمترین اشکال در اختیار داوطلبان محترم قرار گیرد.

انتشارات آزاده

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه

۹	۱ - مقدمه
۹	۱ - ۲ - انتقال گرما و مکانیسم‌های آن
۲۲	۱ - ۳ - نکاتی در مورد روش‌های انتقال گرما
۲۳	۱ - ۴ - قانون بقای انرژی
۲۵	۱ - ۵ - خواص گرمایی مواد
۲۷	تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۱
۳۹	پاسخ تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۱

فصل دوم: معادلات کلی انتقال گرمای هدایتی

۲۵	۱ - ۲ - مقدمه
۲۵	۲ - ۲ - معادله کلی انتقال گرمای هدایتی
۲۶	۲ - ۲ - معادله انتقال گرما در مختصات کارتزین
۴۸	۲ - ۳ - معادله انتقال گرما در مختصات استوانه‌ای
۵۰	۲ - ۴ - معادله انتقال گرما در مختصات کروی
۵۱	۲ - ۵ - شرایط مرزی و اولیه
۵۶	تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۲
۶۲	پاسخ تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۲

فصل سوم: انتقال گرمای هدایتی

۶۵	۱ - ۳ - مقدمه
۶۵	۲ - ۳ - دیوار مسطح
۷۲	۳ - ۳ - استوانه
۷۷	۳ - ۴ - کره
۸۰	۳ - ۵ - تعیین توزیع دما و نرخ انتقال گرما در حالت k متغیر
۸۶	۳ - ۶ - مقاومت گرمایی
۸۷	۳ - ۷ - دیوار مرکب
۹۳	۳ - ۸ - عایق بندی
۹۵	۳ - ۹ - مقاومت گرمایی تماس
۹۷	۳ - ۱۰ - شعاع بحرانی
۱۰۱	تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۳ (بخش ۱: مختصات کارتزین)
۱۲۱	پاسخ تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۳ (بخش ۱: مختصات کارتزین)
۱۳۴	تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۳ (بخش ۲: مختصات استوانه‌ای)
۱۴۱	پاسخ تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۳ (بخش ۲: مختصات استوانه‌ای)
۱۴۶	تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۳ (بخش ۳: مختصات کروی)
۱۴۹	پاسخ تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۳ (بخش ۳: مختصات کروی)
۱۵۱	تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۳ (بخش ۴: دیواره‌های مرکب و عایق‌بندی)
۱۶۵	پاسخ تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۳ (بخش ۴: دیواره‌های مرکب و عایق‌بندی)

فصل چهارم: سطوح گسترش یافته (پره‌ها).....	۱۷۳
۱ - ۴ - مقدمه.....	۱۷۳
۲ - ۴ - معادله دیفرانسیل حاکم.....	۱۷۳
۳ - ۴ - توزیع دما در پره‌های با سطح مقطع یکنواخت.....	۱۷۶
۴ - ۴ - انتقال گرما در پره‌ها.....	۱۷۹
۵ - ۴ - راندمان پره.....	۱۸۰
۶ - ۴ - ضریب تأثیر پره.....	۱۸۱
۷ - ۴ - روش هارپر و براون.....	۱۸۴
تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۴.....	۱۸۵
پاسخ تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۴.....	۱۹۴
فصل پنجم: انتقال گرمای هدایتی چندبعدی.....	۱۹۹
۱ - ۵ - مقدمه.....	۱۹۹
۲ - ۵ - روشهای عددی.....	۲۰۱
۳ - ۵ - تعیین ضریب شکل هدایت گرمایی در روش ترسیمی.....	۲۱۲
تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۵ (بخش ۱).....	۲۱۵
پاسخ تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۵ (بخش ۱).....	۲۱۸
تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۵ (بخش ۲).....	۲۱۹
پاسخ تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۵ (بخش ۲).....	۲۲۷
فصل ششم: هدایت گرمایی ناپایا.....	۲۳۱
۱ - ۶ - روش ظرفیت گرمایی فشرده.....	۲۳۱
۲ - ۶ - اثرات مکانی.....	۲۳۹
۳ - ۶ - جسم نیمه بی‌نهایت.....	۲۳۹
۴ - ۶ - نمودارهای هسلر.....	۲۴۲
۵ - ۶ - ترموکوپل‌ها.....	۲۴۳
۶ - ۶ - روشهای تفاضل محدود برای انتقال گرمای ناپایا.....	۲۴۴
۷ - ۶ - هدایت ناپایا در سیستم‌های چند بعدی.....	۲۴۸
تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۶.....	۲۵۱
پاسخ تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۶.....	۲۶۶
فصل هفتم: انتقال گرمای جابه‌جایی.....	۲۷۵
۱ - ۷ - مقدمه.....	۲۷۵
۲ - ۷ - لایه مرزی سرعت.....	۲۷۷
۳ - ۷ - لایه مرزی گرمایی.....	۲۷۹
۴ - ۷ - معادلات لایه مرزی.....	۲۸۰
۵ - ۷ - تشابه رینولدز.....	۲۸۲
۶ - ۷ - تشابه رینولدز - کلبورن.....	۲۸۳
۷ - ۷ - جریان روی صفحه تخت.....	۲۸۴
۸ - ۷ - جریان حول استوانه و کره.....	۲۹۳
۹ - ۷ - جریان داخلی.....	۲۹۸

۳۰۹	تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۷ (بخش ۱: جریان روی صفحه)
۳۳۰	پاسخ تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۷ (بخش ۱: جریان روی صفحه)
۳۴۳	تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۷ (بخش ۲: تشابه رینولدز - کلبورن)
۳۴۶	پاسخ تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۷ (بخش ۲: تشابه رینولدز - کلبورن)
۳۴۸	تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۷ (بخش ۳: جریان روی کره و استوانه)
۳۴۹	پاسخ تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۷ (بخش ۳: جریان روی کره و استوانه)
۳۵۰	تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۷ (بخش ۴: جریان داخل لوله)
۳۶۵	پاسخ تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۷ (بخش ۴: جریان داخل لوله)

فصل هشتم: جابه‌جایی طبیعی

۳۷۵	۸ - ۱ - مقدمه
۳۷۵	۸ - ۲ - معادلات حاکم بر انتقال گرمایی جابه‌جایی طبیعی
۳۷۶	۸ - ۳ - تعیین توزیع سرعت و توزیع دما
۳۷۷	۸ - ۴ - روابط جابه‌جایی طبیعی
۳۷۷	۸ - ۵ - جابه‌جایی طبیعی روی صفحه تخت
۳۷۸	۸ - ۶ - جابه‌جایی طبیعی روی استوانه
۳۸۲	۸ - ۷ - جابه‌جایی طبیعی روی کره
۳۸۶	۸ - ۸ - جابه‌جایی طبیعی داخل محفظه‌های بسته
۳۸۷	۸ - ۹ - انتقال گرمایی جابه‌جایی اجباری طبیعی توأم
۳۸۸	تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۸
۳۸۹	پاسخ تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۸
۴۰۵	

فصل نهم: جوشش و میعان

۴۱۵	۹ - ۱ - جوشش و میعان
۴۱۵	۹ - ۲ - جوشش
۴۱۵	۹ - ۳ - میعان
۴۲۰	تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۹
۴۲۵	پاسخ تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۹
۴۳۳	

فصل دهم: مبدل‌های گرمایی

۴۳۷	۱۰ - ۱ - مقدمه
۴۳۷	۱۰ - ۲ - انواع مبدل‌های گرمایی
۴۳۷	۱۰ - ۳ - رسوب‌گذاری
۴۴۱	۱۰ - ۴ - تحلیل مبدل‌های گرمایی
۴۴۲	۱۰ - ۵ - قطر معادل
۴۴۹	تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۱۰
۴۵۰	پاسخ تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۱۰
۴۶۸	

فصل یازدهم: اعداد بی‌بعد

۴۷۹	۱۱ - ۱ - عدد رینولدز
۴۷۹	۱۱ - ۲ - عدد پراتل
۴۸۰	۱۱ - ۳ - عدد ناسلت

۴۸۰	۱۱ - ۴ - عدد بیو
۴۸۱	۱۱ - ۵ - عدد فوریه
۴۸۱	۱۱ - ۶ - عدد گراف
۴۸۱	۱۱ - ۷ - عدد پکلت
۴۸۱	۱۱ - ۸ - عدد رایلی
۴۸۲	۱۱ - ۹ - عدد استاتون
۴۸۲	۱۱ - ۱۰ - عدد اکرت
۴۸۲	۱۱ - ۱۱ - عدد گراتز
۴۸۲	۱۱ - ۱۲ - عدد لویس
۴۸۲	۱۱ - ۱۳ - عدد بریکس
۴۸۳	تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۱۱
۴۹۰	پاسخ تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۱۱
۴۹۳	فصل دوازدهم: تشعشع
۴۹۳	۱۲ - ۱ - مقدمه
۴۹۵	۱۲ - ۲ - خواص تشعشع
۴۹۷	۱۲ - ۳ - قانون کیرشهف
۴۹۸	۱۲ - ۴ - قانون توزیع پلانک
۴۹۹	۱۲ - ۵ - قانون استفان بولتزمن
۴۹۹	۱۲ - ۶ - قانون جابه‌جایی وین
۵۰۱	۱۲ - ۷ - تبادل گرمای تشعشعی بین سطوح سیاه
۵۰۱	۱۲ - ۸ - تبادل گرمای تشعشعی بین سطوح خاکستری و دیفیوز در یک محیط
۵۰۴	۱۲ - ۹ - سپرهای تشعشعی
۵۰۵	۱۲ - ۱۰ - انتقال گرمای تشعشعی در گازها
۵۰۷	۱۲ - ۱۱ - پدیده گلخانه‌ای
۵۰۷	۱۲ - ۱۲ - تعیین ضریب شکل
۵۱۳	تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۱۲ (بخش ۱: تشعشع)
۵۲۸	پاسخ تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۱۲ (بخش ۱: تشعشع)
۵۳۹	تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۱۲ (بخش ۲: ضریب شکل)
۵۴۴	پاسخ تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۱۲ (بخش ۲: ضریب شکل)
۵۴۸	تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۱۲ (بخش ۳: کوره‌ها)
۵۵۲	پاسخ تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۱۲ (بخش ۳: کوره‌ها)
۵۵۴	تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۱۲ (بخش ۴: مکانیسم‌های انتقال حرارت)
۵۶۰	پاسخ تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۱۲ (بخش ۴: مکانیسم‌های انتقال حرارت)
۵۶۳	واژه‌نامه
۵۶۶	مراجع
۵۶۷	تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد

مقدمه

۱

۱-۱- مقدمه

ما در علم ترمودینامیک با تبادل گرما و نقش اساسی آن در قوانین اول و دوم آشنا شدیم اما در این علم مکانیزم انتقال گرما و روش های محاسبه نرخ انتقال گرما مورد بررسی قرار نمی گیرد. در ترمودینامیک به حالت های تعادلی ماده پرداخته می شود که لازمه آن عدم وجود گرادیان دما است و این نکته که انتقال گرما ماهیتاً غیرتعادلی است مورد بررسی قرار نمی گیرد. هدف ما در مطالعه علم انتقال گرما تعیین کمی نرخ انتقال گرما برحسب میزان عدم تعادل و توزیع دما در سیستم است.

۱-۲- انتقال گرما و مکانیسم های آن

انتقال گرما به صورت انرژی انتقال یافته از یک سیستم به سیستم دیگر در اثر وجود اختلاف دما بین دو سیستم تعریف می گردد. انتقال گرما ناشی از وجود اختلاف دما است، بین دو محیط که دمای یکسانی دارند انتقال گرمایی صورت نمی گیرد.

🔹 **نکته:** گرادیان دما، نیروی محرکه انتقال گرما است.

🔹 **نکته:** نرخ انتقال گرما در یک جهت مشخص به میزان اختلاف دما بر واحد طول بستگی دارد و هر چه اختلاف دما زیادتر باشد نرخ انتقال گرما زیادتر می شود.

مکانیسم‌های مختلف انتقال گرما عبارتند از:

- (۱) هدایت (Conduction) ← در جامدات و سیالات ساکن صورت می‌گیرد یعنی واسطه انتقال گرما ساکن است.
 - (۲) جابجایی (Convection) ← در سیالات متحرک صورت می‌گیرد یعنی واسطه انتقال گرما با حرکت و جابجایی سبب انتقال گرما می‌شود.
 - (۳) تشعشع (Radiation) ← بین دو نقطه که اختلاف دما دارند همیشه صورت می‌گیرد و نیازی به واسطه انتقال گرما (محیط مادی) ندارد.
- در هر سه روش گرما از محیطی با دمای بالاتر به محیطی با دمای پایین‌تر منتقل می‌شود.

۱-۲-۱- انتقال گرمای هدایتی

هدایت، انتقال انرژی از ذرات پرانرژی یک ماده به ذرات کم‌انرژی مجاور و حاصل از برهم کنش بین ذرات است. در این روش انتقال واسطه انتقال گرما ساکن است. در مایعات و گازها هدایت بر اثر برخورد و انتشار مولکول‌ها در حین حرکت تصادفی صورت می‌گیرد. در جامدات هدایت در اثر ترکیبی از ارتعاشات مولکولی در شبکه و انتقال انرژی به وسیله الکترون‌های آزاد صورت می‌گیرد. بنابراین هدایت یک پدیده انتقال در مقیاس مولکولی است.

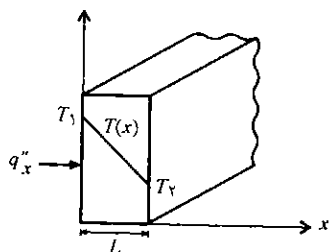
انرژی که مولکول‌ها دارا هستند بواسطه حرکات خطی، دورانی و نوسانی آن‌ها است و با افزایش دما افزایش می‌یابد.

نکته: نرخ هدایت گرمایی از یک محیط به هندسه، ضخامت، جنس ماده و اختلاف دما در عرض محیط بستگی دارد.

قانون فوریه

برای تعیین میزان انتقال گرمای هدایتی از قانون فوریه استفاده می‌کنیم. قانون فوریه بیان می‌کند که انتقال گرما در اثر اندرکنشهای مولکولی در هر نقطه‌ای از جامد یا سیال از نظر مقدار متناسب با گرادیان دما و از نظر جهت در خلاف جهت آن است.

مطابق شکل (۱-۱) دیواری مسطح به ضخامت L را در نظر می‌گیریم که دمای یک طرف آن T_1 و دمای طرف دیگر آن T_2 است. با فرض $T_1 > T_2$ انتقال گرما از سمت چپ به سمت راست صورت می‌گیرد.



شکل ۱-۱

هرگاه این دیواره مسطح یک بعدی دارای توزیع دمای $T = T(x)$ باشد شار انتقال گرما (q''_x) با استفاده از قانون فوریه به دست می‌آید:

$$q''_x = -k \frac{dT}{dx} \quad (۱-۱)$$

هرگاه توزیع دما خطی باشد داریم:

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_2 - T_1}{L} \quad (۲-۱)$$

بنابراین:

$$q''_x = -k \frac{T_2 - T_1}{L} = k \frac{\Delta T}{L} \quad (۳-۱)$$

معادله فوق نشان می‌دهد که شار انتقال گرما متناسب با تغییرات دما در طول L است. ضریب تناسب k را ضریب هدایت گرمایی می‌نامیم. در معادله فوق $\Delta T = T_2 - T_1$ و L ضخامت صفحه است.

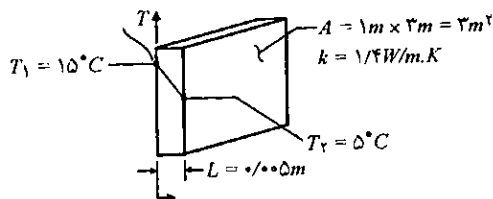
نرخ انتقال گرما در دیواره از رابطه $q_x = q''_x A$ بدست می‌آید که A سطح مقطع عمود بر جهت انتقال گرما است.

با زیاد کردن سطح و درجه حرارت و کم کردن ضخامت انتقال گرما به روش هدایت افزایش می‌یابد.

دلیل وجود علامت منفی این است که انتقال گرما در جهت کاهش دما صورت می‌گیرد.

مثال: دمای سطوح داخلی و بیرونی شیشه‌ای به ضخامت 5 mm به ترتیب 15°C و 5°C است. اتلاف گرما از این شیشه با ابعاد $3\text{ m} \times 1\text{ m}$ را تعیین کنید. ضریب هدایت گرمایی شیشه $1/4\text{ W/mK}$ است.

حل:

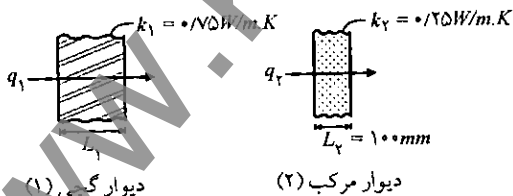


فرض می‌کنیم انتقال گرما یک بعدی در جهت x باشد همچنین شرایط پایا و خواص ثابت باشند.
با استفاده از قانون فوریه داریم:

$$q_x'' = k \frac{\Delta T}{L} = \frac{1}{4} \times \frac{15 - 5}{0.05} = 2800 \text{ W/m}^2$$

$$q_x = q_x'' A = 2800 \times 3 = 8400 \text{ W}$$

مثال: اتلاف گرما از دیوار گچی با ضریب هدایت گرمایی 0.75 W/m.K برابر با 80% درصد نرخ انتقال گرما از یک دیوار مرکب با ضریب هدایت گرمایی 0.25 W/m.K و ضخامت 100 mm است. اگر اختلاف دمای سطوح بیرونی و داخلی در دو دیوار یکسان باشد ضخامت دیوار گچی چقدر است؟
حل:



فرض می‌کنیم انتقال گرما یک بعدی و در جهت x باشد همچنین شرایط پایا و خواص ثابت باشند.
با استفاده از قانون فوریه داریم:

$$q'' = k \frac{\Delta T}{L}$$

$$\Delta T = cte \Rightarrow L_1 = L_2 \frac{k_1 q_2''}{k_2 q_1''}$$

$$q_1'' = 0.8 q_2'' \Rightarrow L_1 = 100 \times \frac{0.75}{0.25} \times \frac{1}{0.8} = 375 \text{ mm}$$

اگر انتقال گرما در جهات x ، y و z صورت گیرد داریم:

$$q_x'' = -k \frac{\partial T}{\partial x} \quad (۱-۴)$$

$$q_y'' = -k \frac{\partial T}{\partial y} \quad (۱-۵)$$

$$q_z'' = -k \frac{\partial T}{\partial z} \quad (۱-۶)$$

سه معادله فوق مؤلفه‌های معادله برداری زیر هستند:

$$\mathbf{q}'' = q_x'' \mathbf{i} + q_y'' \mathbf{j} + q_z'' \mathbf{k} \quad (۱-۷)$$

$$\mathbf{q}'' = -k \nabla T \quad (۱-۸)$$

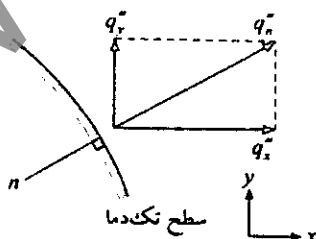
که شکل سه بعدی قانون فوریه نامیده می‌شود و نشان دهنده این است که بردار شار گرمایی متناسب با گرادیان دما است.

معادلات (۱-۴) تا (۱-۶) ارتباط دهنده شار گرما در عرض یک سطح با گرادیان دما در جهت عمود بر آن هستند.

قانون فوریه را می‌توان به صورت زیر هم بیان کرد:

$$q_n'' = -k \frac{\partial T}{\partial n}$$

که q_n'' شار گرما در جهت n است که بر صفحه دما ثابت عمود است. در شکل زیر این موضوع برای حالت دو بعدی نشان داده شده است.



$$q_n'' = \sqrt{q_x''^2 + q_y''^2}$$

مواد ایزوتروپیک یا همسانگرد: موادی هستند که ضریب هدایت گرمایی آنها در جهات مختلف یکسان است.

مواد غیرایزوتروپیک ناهمسانگرد: موادی هستند که ضریب هدایت گرمایی آنها در جهات مختلف یکسان نیست مانند چوب و کریستالهای غیرمکعبی.

معادلات (۱-۲) تا (۱-۴) برای مواد ایزوتروپیک صادق هستند. برای مواد غیر ایزوتروپیک که مقدار ضریب هدایت گرمایی در جهات مختلف یکسان نیست داریم:

$$q_x'' = - \left(k_{11} \frac{\partial T}{\partial x} + k_{12} \frac{\partial T}{\partial y} + k_{13} \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad (۹-۱)$$

$$q_y'' = - \left(k_{21} \frac{\partial T}{\partial x} + k_{22} \frac{\partial T}{\partial y} + k_{23} \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad (۱۰-۱)$$

$$q_z'' = - \left(k_{31} \frac{\partial T}{\partial x} + k_{32} \frac{\partial T}{\partial y} + k_{33} \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad (۱۱-۱)$$

نکاتی در مورد قانون فوریه

- ۱- این قانون مبتنی بر تجربه است و به صورت تئوری به دست نیامده است.
- ۲- علامت منفی نشان دهنده این است که انتقال گرما در جهت کاهش دما صورت می‌گیرد. انتقال گرما نمی‌تواند از جای سرد به جای گرم صورت گیرد چون قانون دوم ترمودینامیک نقض می‌شود.
- ۳- این قانون برای هر دو حالت پایا و ناپایا صادق است.
- ۴- این قانون برای تمام حالت‌های ماده (جامد، مایع و گاز) قابل استفاده است.

نکته: در صورتی که گرادیان دما ثابت باشد انتقال گرما به ضخامت بستگی نخواهد داشت چون به ازای هر ضخامتی مقدار انتقال گرما ثابت است.

ضریب هدایت گرمایی

ضریب هدایت گرمایی یک خاصیت انتقالی است و می‌توان آن را به صورت نسبت شار انتقال گرما به گرادیان دما تعریف کرد:

$$k = - \frac{q_x''}{\partial T / \partial x} \quad (۱۲-۱)$$

ضریب هدایت گرمایی معیاری از قابلیت مواد در هدایت گرما است.

واحد آن در سیستم SI، $W/m^2 K$ و در سیستم انگلیسی $Btu/ft \cdot hr \cdot R$ است.

اجسام را برحسب k می‌توان به سه دسته زیر تقسیم کرد:

(۱) هادی: دارای k زیاد

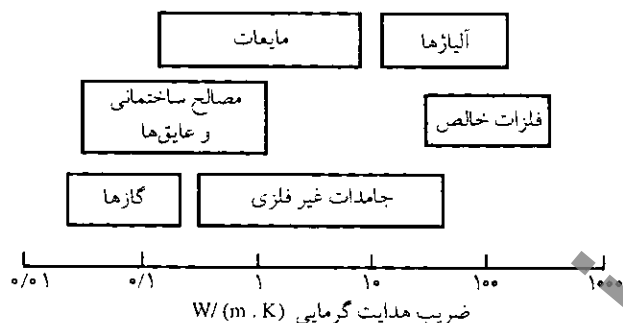
(۲) نیمه هادی: دارای k متوسط

(۳) عایق: دارای k کم

نکاتی در مورد ضریب هدایت گرمایی:

(۱) ضریب هدایت گرمایی:

گازها > مایعات > جامدات غیر فلزی > آلیاژهای فلزی > فلزات خالص



شکل ۱-۲. محدوده ضریب هدایت گرمایی مواد در دما و فشار متوسط

۲) ضریب هدایت گرمایی یک ماده تابع حالت ماده است و با تغییر دما، فشار، ساختمان، رطوبت و ... ماده تغییر می‌کند.

۳) از تغییرات ضریب هدایت گرمایی دو اثر تغییر فشار می‌توان صرف‌نظر کرد.

۴) k نمی‌تواند مقدار منفی داشته باشد چون در اینصورت قانون دوم ترمودینامیکی نقض می‌گردد.

۵) در برخی جامدات خاص (مثلاً جامدات لیفی) مقدار k به جهت انتقال گرما هم وابسته است مثلاً ضریب هدایت گرمایی پشم شیشه در حالتی که جهت جریان در جهت الیاف است با حالتی که جهت جریان عمود بر الیاف است فرق می‌کند.

۶) با منظم‌تر شدن شبکه مولکولی ضریب هدایت گرمایی هم افزایش می‌یابد.

۷) برای گازها داریم:

الف) با استفاده از تئوری جنبشی گازها ضریب هدایت گرمایی با مجذور دما نسبت مستقیم دارد.

$$k \propto T^{\frac{1}{2}}$$

ب) ضریب هدایت گرمایی با مجذور جرم مولکولی نسبت عکس دارد.

$$k \propto M^{-\frac{1}{2}}$$

ج) در حالت عمومی برای گازها: $k < 0.1 \text{ W/m}^\circ\text{C}$

۸) برای مایعات داریم:

الف) ضریب هدایت گرمایی با افزایش دما، کاهش می‌یابد به جز آب و گلیسرین ($T \uparrow : k \downarrow$)

ب) ضریب هدایت گرمایی با افزایش جرم مولکولی کاهش می‌یابد.

ج) ضریب هدایت گرمایی به فشار حساس نیست به جز حوالی نقطه بحرانی.

د) ضریب هدایت گرمایی آب مایع با افزایش دما ابتدا افزایش می‌یابد و سپس کاهش می‌یابد.

ه) ضریب هدایت گرمایی: مایعات فلزی < مایعات غیر فلزی

۹) برای فلزات داریم:

الف) در برخی از فلزات ضریب هدایت گرمایی با افزایش دما کاهش می‌یابد مثل مس و در برخی دیگر افزایش می‌یابد مثل آلومینیم و در برخی بدون تغییر می‌ماند مثل فولاد.

ب) فلزات خالص دارای ضریب هدایت گرمایی بالایی هستند ضریب هدایت گرمایی آلیاژی که از دو فلز درست شده است معمولاً خیلی کمتر از ضریب‌های هدایت گرمایی متناظر هر کدام از فلزات به حالت خالصشان است.

۱۰) جامدات شبکه‌ای مانند الماس و جامدات نیمه هادی مثل سیلیکون هادی خوب گرما و هادی ضعیف جریان الکتریکی هستند به همین خاطر به طور گسترده در صنایع الکترونیک کاربرد دارند.

۱۱) k در دماهای بسیار پایین به سرعت تغییر می‌کند.

۱۲) ضریب هدایت گرمایی معمولاً با هدایت الکتریکی نسبت مستقیم دارد.

مثال: مخترعی ادعا می‌کند که ماده عایق جدیدی ساخته است که ضریب رسانایی گرمایی (k) آن با دما

($t, ^\circ\text{C}$) رابطه‌ای به صورت زیر دارد: $k = -52 + \frac{t}{25}$ آیا ادعای او پذیرفتنی است؟ (مهندس شیمی ۷۹)

۱) خیر، چون خاصیت ابر رسانایی دارد.

۲) بله، چون عایق بسیار خوبی است.

۳) بله، چون بعضی آلیاژها چنین رفتاری دارند.

۴) خیر، چون قانون دوم ترمودینامیک را نقض می‌کند.

حل:

$$-52 + \frac{t}{25} = 0 \Rightarrow t = 1300^\circ\text{C}$$

در دماهای پایین‌تر از 1300°C مقدار k منفی است و قانون دوم ترمودینامیک نقض می‌شود.

گزینه (۴) صحیح است.

مثال: ضریب انتقال حرارت در گازها (k) با افزایش دما افزایش می‌یابد زیرا که k متناسب با است.

(مهندس فرآوری و انتقال گاز ۸۸)

$$\sqrt{T} \quad (۴)$$

$$\sqrt{T^3} \quad (۳)$$

$$T^2 \quad (۲)$$

$$T \quad (۱)$$

حل:

$$k \propto T^{\frac{1}{2}}$$

در گازها: (۴) صحیح است.

(مهندسی شیمی آزاد ۸۹)

مثال: برای آب در حالت مایع اشباع هدایت حرارتی چگونه تغییر می‌کند؟

(۱) با افزایش دما بیشتر می‌شود.

(۲) با افزایش دما ابتدا زیاد و سپس کم می‌شود.

(۳) با افزایش دما کم می‌شود.

(۴) هیچکدام

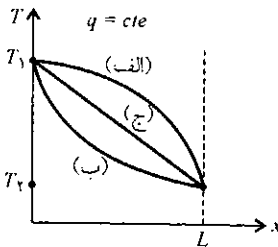
حل: گزینه (۲) صحیح است.

توجه: تابعیت ضریب هدایت گرمایی از دما در اکثر مواد در محدوده‌های وسیعی از دما خطی است و توسط معادله زیر بیان می‌شود:

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

(۱۳-۱)

در معادله فوق k_0 ضریب هدایت گرمایی در دمای صفر (یا هر دمای مرجع دیگر) و β ضریب ثابت است.

(الف) $\beta > 0$: k تابع صعودی از دما است.(ب) $\beta < 0$: k تابع نزولی از دما است.(ج) $\beta = 0$: k مستقل از دما است.

۱-۲-۲ انتقال گرمای جابه‌جایی

جابه‌جایی روشی برای انتقال انرژی بین سطح یک جامد و مایع یا گاز مجاورش آن است که در حال حرکت می‌باشد و شامل ترکیب اثرات هدایت و حرکت سیال است.

انتقال گرمای جابه‌جایی از دو مکانیزم تشکیل شده است: یکی انتقال انرژی توسط حرکت تصادفی مولکولی (پخش گرمایی) و حرکت توده‌ای یا ماکروسکوپی سیال.

هرگاه مجموع این دو مکانیزم مد نظر باشد، از واژه جابه‌جایی استفاده می‌شود و هرگاه انتقال گرما تنها ناشی از حرکت توده سیال مد نظر باشد واژه ادواکسیون به کار می‌رود.

انتقال گرمای جابه‌جایی به دو صورت جابه‌جایی اجباری و جابه‌جایی آزاد وجود دارد. اگر جریان سیال توسط یکسری عوامل خارجی مانند پمپ، فن یا جریان باد ایجاد گردد جابه‌جایی از نوع جابه‌جایی اجباری است. در جابه‌جایی آزاد حرکت سیال به وسیله نیروهای شناوری حاصل می‌شود که از اختلاف چگالی ناشی از تغییرات دما نشأت می‌گیرد.

در برخی فرایندهای جابه‌جایی تبادل گرمای نهان نیز مطرح می‌شود و تبادل گرمای نهان معمولاً با تغییر فاز بین حالت‌های بخار و مایع یک سیال همراه است. جوشش و میعان نمونه‌هایی از این نوع جابه‌جایی هستند.

برای محاسبه انتقال گرمای جابه‌جایی از قانون سرمایش نیوتن استفاده می‌شود:

$$q = hA(T_s - T_\infty) \quad (۱۴-۱)$$

مثال: 700 W/m^2 از شار گرمایی تابش خورشید، توسط ورقی که پشت آن به دقت عایق‌بندی شده است، جذب می‌شود. ضریب جابجایی ورق $11 \text{ W/m}^2\text{C}$ و دمای هوای محیط 30°C است. دمای ورق را در این شرایط محاسبه کنید. (مهندسی فرآوری و انتقال کال ۸۵)

$$80^\circ\text{C} \quad (۱) \quad 83/7^\circ\text{C} \quad (۲) \quad 90^\circ\text{C} \quad (۳) \quad 93/6^\circ\text{C} \quad (۴)$$

حل:

$$q = hA\Delta T \Rightarrow \frac{q}{A} = h\Delta T \Rightarrow 700 = 11 \times (T - 30)$$

$$\Rightarrow T = 93/6^\circ\text{C}$$

گزینه (۴) صحیح است.

مثال: اگر در هوای سرد دست خود را بیرون از پنجره یک ماشین در حال حرکت یا در مسیر جریان آب خنک قرار دهید سرمایشی را در دست خود احساس می‌کنید اگر دمای کف دست 30°C باشد شار انتقال گرمای جابجایی را:

الف) وقتی که ماشین با سرعت 35 km/h در هوای 5°C با ضریب جابجایی $40 \text{ W/m}^2\text{K}$ حرکت می‌کند.

ب) وقتی که آب با سرعت 2 m/s با دمای 10°C و ضریب جابجایی $900 \text{ W/m}^2\text{K}$ جریان دارد بدست آورید.

حل:

$$\text{الف)} \quad q_{air}'' = h(T_s - T_\infty) = 40 \times (3 - (-5)) = 1400 \text{ W/m}^2$$

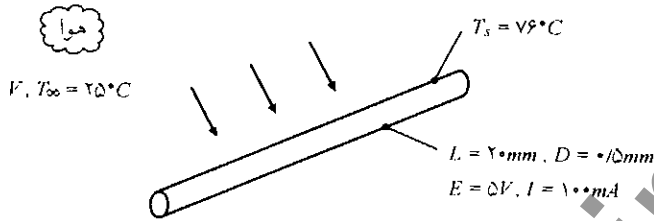
$$\text{ب)} \quad q_w'' = h(T_s - T_\infty) = 900 \times (30 - 10) = 18000 \text{ W/m}^2$$

مثال: یکی از روش‌های اندازه‌گیری سرعت جریان هوا این است که یک سیم الکتریکی را در جریان هوا طوری قرار می‌دهند که محور آن بر امتداد جریان هوا عمود است. فرض می‌شود انرژی الکتریکی مصرفی در سیم از طریق جابجایی اجباری به هوا داده می‌شود. لذا برای قدرت الکتریکی مشخصی، دمای سیم به ضریب جابجایی سیم بستگی دارد و این ضریب هم به سرعت هوا بستگی دارد.

سیمی به طول $L = 20 \text{ mm}$ و به قطر $D = 0.5 \text{ mm}$ را در نظر بگیرید. برای این سیم رابطه $V = 6/25 \times 10^{-5} h$ برقرار است. هوا در دمای $T_\infty = 25^\circ\text{C}$ ، سطح بادسنج در دمای ثابت

$T_s = 75^\circ\text{C}$ ، افت ولتاژ الکتریکی 5 V و جریان 0.1 A است. سرعت هوا را تعیین کنید.

حل:



هرگاه کل انرژی الکتریکی توسط جابجایی به هوا منتقل گردد داریم:

$$P_{elec} = EI = hA(T_s - T_\infty)$$

$$A = \pi DL = \pi \times 0.005 \times 0.02 = 3.14 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$h = \frac{EI}{A(T_s - T_\infty)} = \frac{5 \times 0.1}{3.14 \times 10^{-5} \times 50} = 318 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$V = 6/25 \times 10^{-5} h^2 = 6/25 \times 10^{-5} \times 318^2 = 6/3 \text{ m/s}$$

در معادله فوق h ضریب انتقال گرمای جابجایی، A سطح، T_s دمای سطح و T_∞ دمای سیال است.

h یک خاصیت سیال نیست بلکه مقدار آن به هندسه سطح، طبیعت حرکت سیال و سرعت حجمی سیال بستگی دارد. واحد h ، $\text{W/m}^2\text{K}$ است.

انتقال گرمای جابجایی یک کمیت مقداری است و به جهت بستگی ندارد.

👉 **نکته:** ضریب جابجایی گرمایی: گاز > مایع

👉 **نکته:** ضریب جابجایی گرمایی: جابجایی آزاد > جابجایی اجباری > جوشش > میعان

جدول ۱-۱ - محدوده ضریب انتقال گرمای جابجایی

فرایند	$h (\text{W/m}^2\text{K})$
جابجایی آزاد: گازها مایعات	۵ - ۲۵ ۵۰ - ۱۰۰۰
جابجایی اجباری: گازها مایعات جوشش و میعان	۲۵ - ۲۵۰ ۱۰۰ - ۲۰۰۰۰ ۲۵۰۰ - ۱۰۰۰۰۰

نکته: در مجاورت سطح گرم جریان به سطح بالا حرکت می‌کند و در مجاورت سطح سرد جریان به سمت پایین حرکت می‌کند.

نکته: در خلأ انتقال گرمای جابه‌جایی صورت نمی‌گیرد.

نکته: بهترین روش جهت افزایش انتقال گرما زیاد کردن h است. وجود موانع روی سطح، سبب افزایش سطح انتقال، ایجاد تلاطم بیشتر و در نتیجه h بیشتر شده و انتقال گرما زیادتر می‌شود.

نکته: در قانون سرمایش نیوتن h مستقل از دما در نظر گرفته شده است اما داریم:

جابه‌جایی اجباری: h تقریباً مستقل از دما است.

جابه‌جایی آزاد: h تابعی از ΔT به توان $\frac{1}{3}$ تا $\frac{1}{4}$ است.

جوشش: h متناسب با توان سوم ΔT است.

۱-۲-۳- انتقال گرمای تشعشعی

تشعشع نوعی انرژی است که از یک ماده به صورت امواج الکترومغناطیس (یا فوتون) خارج می‌گردد که حاصل تغییر در شکل الکترونیکی اتم‌ها یا مولکول‌ها است.

نکته: در انتقال گرمای هدایتی و جابه‌جایی محیط مادی مورد نیاز است ولی در انتقال گرمای تشعشعی چنین محیطی لازم نیست و می‌تواند در خلأ هم منتقل شود.

نکته: حداکثر انتقال گرمای تشعشعی زمانی صورت می‌گیرد که بین دو جسم خلأ کامل باشد.

کلیه اجسام در دمای بالاتر از صفر مطلق تشعشع گرمایی دارند. حداکثر تشعشع که توسط یک سطح با دمای مطلق T_s قابل صدور است با استفاده از قانون استفان - بولتزمن قابل محاسبه است:

$$q = A \sigma T_s^4 \quad (۱۵-۱)$$

در معادله فوق σ ثابت استفان بولتزمن است و مقدار آن برابر $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$ است.

این سطح ایده‌آل فرضی که حداکثر تشعشع را حاصل می‌کند جسم سیاه می‌نامند توجه داشته باشید که تشعشع خروجی از کلیه سطوح حقیقی کمتر از تشعشع جسم سیاه با همان دما است و به صورت زیر بیان می‌شود:

$$q = A \epsilon \sigma T_s^4 \quad (۱۶-۱)$$

در معادله فوق ϵ ضریب صدور سطح است و مقدار آن در محدوده $0 < \epsilon \leq 1$ است.

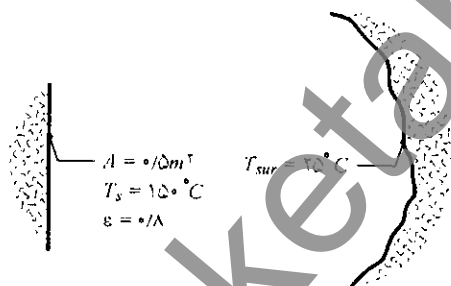
انتقال گرمای تشعشعی خالص عبارت است از اختلاف بین نرخ تشعشع خروجی توسط سطح و تشعشع جذب شده.

هرگاه سطحی با ضریب صدور ε و سطح A و دمای مطلق T_s به وسیله سطح بزرگتری به دمای مطلق T_{surr} کاملاً پوشیده شده باشد و به وسیله گازی مانند هوا که هیچ گونه تقابلی با تشعشع ندارد جدا شده باشد نرخ خالص انتقال گرمای تشعشعی بین دو سطح برابر خواهد بود با:

$$q_{rad} = \varepsilon \sigma A (T_s^4 - T_{surr}^4) \quad (۱۷-۱)$$

مثال: سطحی به مساحت $۰/۵ m^2$ و ضریب صدور $۰/۸$ و دمای $۱۵۰^\circ C$ در اطافی بزرگ و خالی از هوا که دمای دیوارهای آن $۲۵^\circ C$ است قرار دارد. نرخ صدور انرژی تابشی از سطح چقدر است؟ نرخ تبادل خالص تابش بین سطح و دیوارهای محفظه را حساب کنید.

حل:



الف) نرخ صدور انرژی تشعشعی از سطح برابر است:

$$\begin{aligned} q_{emit} &= A \varepsilon \sigma T_s^4 \\ &= 0.5 \times 0.8 \times (5.67 \times 10^{-8}) \times (150 + 273)^4 = 726 \text{ W} \end{aligned}$$

ب)

$$\begin{aligned} q &= \varepsilon \sigma A (T_s^4 - T_{surr}^4) \\ &= 0.8 (5.67 \times 10^{-8}) \times 0.5 (423^4 - 298^4) = 547 \text{ W} \end{aligned}$$

اگر بخواهیم معادله (۱۷-۱) را به شکل زیر بیان کنیم:

$$q_{rad} = h_r A (T_s - T_{surr}) \quad (۱۸-۱)$$

ضریب انتقال گرمای تشعشعی h_r با استفاده از معادله (۱۷-۱) به شکل زیر خواهد شد:

$$h_r = \varepsilon \sigma (T_s^3 + T_{surr}^3) (T_s + T_{surr}) \quad (۱۹-۱)$$

مبحث تشعشع در فصل ۱۲ به صورت خیلی کامل مورد بحث قرار خواهد گرفت.

۱-۳- نکاتی در مورد روش‌های انتقال گرما

- ۱- انتقال گرما در مایعات ساکن به صورت هدایت و احتمالاً تشعشع انجام می‌شود و در مایعات جاری به صورت جابه‌جایی و احتمالاً تشعشع انجام می‌شود.
- ۲- انتقال گرمای تشعشعی فقط در دماهای بالا مطرح می‌شود.
- ۳- انتقال گرما در خلأ تنها با روش تشعشع قابل انجام است.
- ۴- انتقال گرما در جامدات تیره تنها با روش هدایت قابل انجام است و در جامدات غیر تیره با روش‌های هدایت و تشعشع قابل انجام است.
- ۵- تشعشع در مقایسه با هدایت یا جابه‌جایی آزاد قابل ملاحظه است ولی در مقایسه با جابه‌جایی اجباری ناچیز است.
- ۶- در دماهای خیلی بالا تشعشع در مقایسه با جابه‌جایی یا هدایت، مکانیزم اصلی انتقال گرما است.
- ۷- در گازها داریم:

الف) در دماهای بالا، جابه‌جایی و تشعشع، مکانیزم اصلی انتقال گرما هستند.

ب) در دماهای پایین، جابه‌جایی و هدایت، مکانیزم اصلی انتقال گرما هستند.

۸- در طراحی ظروف دو جداره بهترین روش طراحی با این صورت است که جهت جلوگیری از انتقال گرمای هدایتی و جابه‌جایی بین دو جداره، خلأ ایجاد شود و برای کاهش انتقال گرمای تشعشعی، سطوح داخلی به صورت آینه‌ای درست شود.

۹- برای اندازه‌گیری دمای اجسام خیلی دور از پیزومتر استفاده می‌شود که بر اساس رنگ (طول موج) نور رسیده کار می‌کند.

۱۰- برای اندازه‌گیری ضریب هدایت گرمایی گازها از یک لایه نازک از گاز بین دو استوانه استفاده می‌شود.

مثال: انتقال حرارت به صورت تشعشعی در صورتی بین دو صفحه T_1 و T_2 حائز اهمیت است که:

(مهندس شیمی آزاد ۸۳)

(۱) مقدار T ها زیاد باشد و ΔT زیاد باشد. (۲) مقدار T ها زیاد باشد و ΔT کم باشد.

(۳) مقدار T ها کم باشد و ΔT زیاد باشد. (۴) موارد ۱ و ۲

حل:

انتقال گرمای تشعشعی در دمای بالا اهمیت پیدا می‌کند و به ΔT بستگی ندارد.

گزینه (۴) صحیح است.

مثال: برای تبادل حرارتی بین دو ناحیه A و B وجود ماده در فاصله میان آن‌ها در انتقال حرارت به روش..... ضروری نمی‌باشد؟
(مهندسی شیمی ۸۰)

- (۱) تابش (۲) هدایت (۳) جابه‌جایی (۴) هر سه مورد

حل:

در انتقال گرما به روش تشعشع، وجود محیط مادی ضروری نیست و می‌تواند در خلاء هم صورت بگیرد.
گزینه (۱) صحیح است.

۱-۴- قانون بقای انرژی

قانون بقای انرژی یا قانون اول ترمودینامیک در بسیاری از مسایل انتقال گرما کاربرد دارد و ما در اینجا آن را برای یک حجم کنترل و یک سطح کنترل بیان می‌کنیم.

۱-۴-۱- قانون بقای انرژی برای حجم کنترل

قانون بقای انرژی برای یک حجم کنترل در هر لحظه t به شکل زیر بیان می‌شود:

$$\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out} + \dot{E}_{gen} = \dot{E}_{st} \quad (۱-۲۰)$$

$\dot{E}_{in}$: نرخ انرژی ورودی به حجم کنترل

$\dot{E}_{out}$: نرخ انرژی خروجی از حجم کنترل

$\dot{E}_{gen}$: نرخ انرژی تولید شده در حجم کنترل

$\dot{E}_{st}$: نرخ انرژی ذخیره شده در حجم کنترل $\left(\frac{dE_{st}}{dt}\right)$

در حالت پایا: $\dot{E}_{st} = 0$

قانون بقای انرژی برای یک حجم کنترل در هر بازه زمانی Δt هم به شکل زیر بیان می‌شود:

$$E_{in} - E_{out} + E_{gen} = \Delta E_{st} \quad (۱-۲۱)$$

انرژی‌های ورودی و خروجی پدیده‌های سطحی هستند این انرژی‌ها تنها در سطح کنترل مبادله شده و متناسب با سطح می‌باشند. انتقال گرما به روشهای هدایت، جابه‌جایی و تشعشع نمونه‌هایی از پدیده‌های سطحی هستند.

تولید انرژی و ذخیره انرژی پدیده‌های حجمی هستند این انرژی‌ها مربوط به داخل حجم کنترل بوده و متناسب با حجم می‌باشند.

تولید انرژی شامل تبدیل انواع انرژی‌های دیگر به انرژی گرمایی است ذخیره انرژی ناشی از تغییرات

انرژی‌های داخلی، جنبشی و پتانسیل است.

توجه داشته باشید که اگر تغییر فاز داشته باشیم، عبارت گرمای نهان به بخش ذخیره انرژی اضافه شده و در صورت وجود اثرات هسته‌ای و شیمیایی آن را در بخش تولید انرژی منظور می‌کنیم.

مثال: دیواره‌ای به ضخامت ۱۰ سانتی متر از یک طرف عایق و از طرف دیگر در یک محیط جابجایی با دمای هوایی برابر ۱۰ درجه سانتی‌گراد و ضریب انتقال حرارت جابجایی $10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C}$ قرار دارد. انرژی خورشیدی نیز با شدت 500 W/m^2 به دیواره می‌تابد. اگر درون این دیواره انرژی با نرخ 3 kJ/m^3 تولید شود دمای سطح دیواره در شرایط پایا چند $^\circ\text{C}$ است؟ (مهندسی شیمی ۹۰)

۳۶۰ (۴)

۹۰ (۳)

۶۰ (۲)

۴۰ (۱)

حل:

$$\dot{q}V + q_{rad}A = hA(T_s - T_\infty)$$

$$3000 \times 0.1A + 500A = 10A(T_s - 10) \Rightarrow T_s = 90^\circ\text{C}$$

گزینه (۳) صحیح است.

مثال: یک کره فلزی به قطر 3 cm که در داخل آن یک منبع گرمایی با شدت $1/2 \text{ kJ/m}^3 \times s$ وجود دارد در محیطی با دمای 25°C قرار گرفته است. ضریب جابجایی بین سطح کره فلزی و محیط $h = 12 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C}$ می‌باشد. دمای سطح بیرونی کره بر حسب درجه سانتی‌گراد چقدر است؟ (مهندسی فآوری و انتقال گاز ۸۹)

۳۵ (۴)

۳۰ (۳)

۲۵ (۲)

۲۰ (۱)

حل:

$$\dot{q}V = hA(\Delta T)$$

$$\Rightarrow 1/2 \times 1000 \times \frac{4}{3}\pi(0.015)^3 = 12 \times 4\pi(0.015)^2 \times (T_s - 25)$$

$$\Rightarrow T_s = 30^\circ\text{C}$$

گزینه (۳) صحیح است.

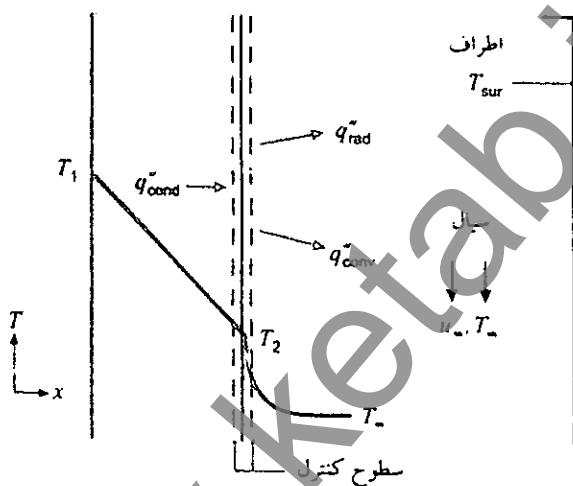
۱-۲-۴. قانون بقای انرژی برای سطح کنترل

در حالتی که قانون بقای انرژی را برای یک سطح کنترل به کار ببریم با توجه به اینکه سطح کنترل نه دارای جرم است نه حجمی را اشغال می‌کند، عبارتهای تولید و ذخیره انرژی از معادله قانون بقا حذف می‌شوند و در نتیجه خواهیم داشت:

$$\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out} = 0 \quad \text{یا} \quad \dot{E}_{in} = \dot{E}_{out} \quad (22-1)$$

معادله فوق هم برای حالت پایا و هم ناپایا صادق است. توجه داشته باشید که در صورت وجود تولید انرژی در داخل ماده باز هم آن را در معادله فوق منظور نمی‌کنیم چون یک پدیده حجمی است. برای سطح کنترل نشان داده شده در شکل می‌توان قانون بقای انرژی را به شکل زیر بیان کرد:

$$q_{cond}'' - q_{conv}'' - q_{rad}'' = 0$$



شکل ۱-۳

۱-۵- خواص گرمایی مواد

خواص مورد استفاده در انتقال گرما عموماً به خواص ترموفیزیکی موسوم هستند که به دو گروه خواص انتقالی و خواص ترمودینامیکی تقسیم می‌شوند. خواص انتقالی مانند ضریب هدایت گرمایی و لزجت سینماتیکی و خواص ترمودینامیکی مانند ظرفیت گرمایی ویژه و چگالی. ضریب هدایت گرمایی در بخش قبل مورد بررسی قرار گرفت و ما در اینجا به برخی از خواص مهم دیگر می‌پردازیم.

۱-۵-۱- ضریب گرمایی حجمی (ρC_p)

حاصل ضرب ρC_p به طور گسترده در تجزیه و تحلیل مسائل انتقال گرما کاربرد دارد. C_p و ρC_p هر دو معیاری از توانایی ذخیره گرمایی ماده هستند. C_p ، این ظرفیت را برحسب واحد جرم و ρC_p ، آن را برحسب واحد حجم بیان می‌کند.

در مورد مایعات و جامداتی که برای ذخیره انرژی به کار می‌روند عموماً $\rho C_p > 1 \text{ MJ/m}^2\text{K}$ گازها

به علت کم بودن چگالی شان مواد مناسبی برای ذخیره انرژی نیستند و عموماً $\rho C_p \approx 1 \text{ kJ/m}^3 \text{ K}$

۱-۵-۲- ضریب نفوذ گرمایی α

ضریب نفوذ گرمایی نیز به صورت گسترده‌ای در تجزیه و تحلیل مسائل انتقال گرما و به خصوص انتقال گرمای گذرا کاربرد دارد و به صورت نسبت گرمای هدایت شده به گرمای ذخیره شده توسط واحد حجم تعریف می‌شود:

$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p} \quad (۱-۲۳)$$

هرچه α بیشتر باشد انتشار گرما در داخل ماده سریع‌تر است.

ضریب نفوذ گرمایی، معیاری از توانایی ماده در هدایت انرژی گرمایی در مقایسه با توانایی آن در ذخیره انرژی گرمایی است. اگر α یک ماده بزرگ باشد به سرعت به تغییرات شرایط گرمایی محیط خود پاسخ می‌دهد و سریعاً به حالت تعادل می‌رسد و برعکس اگر α کوچک باشد زمان لازم برای رسیدن به تعادل زیاد است.

تسویه: α برای فسلزات در حدود $10^{-3} \sim 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ ، و برای مواد عایق در حدود $10^{-6} \sim 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ است.

مثال: ضریب نفوذ گرمایی نمایانگر (مهندسی فرآوری و انتقال گاز ۸۷)

(۱) ذخیره‌سازی انرژی گرمایی است.

(۲) نسبت هدایت انرژی گرمایی به ذخیره انرژی گرمایی است.

(۳) انتقال انرژی به طریق هدایتی است.

(۴) نسبت ذخیره انرژی گرمایی به هدایت انرژی گرمایی است.

حل:

ضریب نفوذ گرمایی معیاری از توانایی ماده در هدایت انرژی گرمایی در مقایسه با توانایی آن در ذخیره انرژی گرمایی است.

گزینه (۲) صحیح است.

مثال: هر چه آن جسم حرارت را سریع‌تر و بهتر انتقال می‌دهد. (مهندسی شیمی آزاد ۸۱)

(۱) α (ضریب نفوذ حرارتی) بزرگ‌تر باشد.

(۲) k (ضریب هدایت حرارتی) کوچک‌تر باشد.

(۳) C_p (ظرفیت حرارتی) بزرگ‌تر باشد.

(۴) ΔT (تفاوت درجه حرارت) کوچک‌تر باشد.

حل:

طبق تعریف ضریب نفوذ گرمایی، هر قدر α بزرگ‌تر باشد جسم سریع‌تر گرما را منتقل می‌کند.

گزینه (۱) صحیح است.