

انتقال حرارت

خلاصه مطالب درسی

نکات ویژه کنکوری

مجموعه سؤالات طبقه بندی شده موضوعی کنکور
کارشناسی ارشد با پاسخ تشریحی

دانشگاه آزاد اسلامی

کنکور سراسری



دکتر بهزاد خداکرمی

مهندسی مکانیک

● کلبه 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 پیاپی 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 مکانیک

□ تألیف: دکتر بهزاد خداکرمی

□ ناظر فنی و چاپ: امیر بدوستانی

□ حروفچینی: انتشارات آزاده

□ لیتوگرافی: آرمانسا

□ چاپ: مروی

□ صحافی: صالحانی

□ تیراژ: ۳۰۰۰ نسخه

□ چاپ اول: بهار ۱۳۹۲

□ ناشر: انتشارات آزاده

□ شابک: ۳-۷۲۵-۵۰۱-۹۶۴-۹۷۸

□ بها: ۱۹۰۰۰ 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 فخرآزی و خ دانشگاه)، جنب بانک ملت، پاساژ پلاک ۱۲۰۲، طبقه زیرهمکف - کدپستی ۱۳۱۴۷۵۴۷۱۳ تلفن: ۴۳۷۴ - ۶۶۴ - ۶۶۴۱۵۷۵۳ - ۶۶۴۱۴۵۱۰ دورنویس:

سرشناسه	: خداکرمی، بهزاد
عنوان و نام پدیدآور	: انتقال حرارت: ویژه رشته مهندسی مکانیک / مؤلف بهزاد خداکرمی.
مشخصات نشر	: تهران: آزاده، ۱۳۹۲.
مشخصات ظاهری	: ۴۶۲ ص.: مصور، جدول، نمودار.
فروست	: سری کتاب‌های آمادگی برای کنکور کارشناسی ارشد، راهیان ارشد.
شابک	: ۳-۷۲۵-۵۰۱-۹۶۴-۹۷۸
وضعیت فهرستویی	: فیا
یادداشت	: واژه‌نامه
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 / ۲۳۵۳ LB
رده‌بندی دیویی	: ۳۷۸/۱۶۶۴
شماره کتابشناسی ملی	: ۳۱۶۰۴۸۰

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 راهیان 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.

راهیان ارشد اولین سعی و تلاش به سمت یک 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 سهمی داشته‌اند صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نماید و نیز کلیه کاستی‌ها و اشکالات موجود را بر عهده 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» بی‌شک 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 تالیفی 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

۹	فصل اول: مقدمه
۹ - ۱	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
۳۲	پاسخ تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۱
۳۵	فصل دوم: معادلات کلی انتقال گرمای هدایتی
۳۵ - ۱	۱ - مقدمه
۳۵ - ۲	۲ - معادله کلی انتقال گرمای هدایتی
۳۶ - ۲	۳ - معادله انتقال گرما در مختصات کارتزین
۳۸ - ۲	۴ - معادله انتقال گرما در مختصات استوانه‌ای
۴۰ - ۲	۵ - معادله انتقال گرما در مختصات کروی
۴۱ - ۲	۶ - شرایط مرزی و اولیه
۴۶	تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۲
۴۹	پاسخ تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۲
۵۱	فصل سوم: انتقال گرمای هدایتی
۵۱ - ۱	۱ - مقدمه
۵۱ - ۲	۲ - دیوار مسطح
۵۸ - ۳	۳ - استوانه
۶۳ - ۳	۴ - کره
۶۶ - ۳	۵ - تعیین توزیع دما و نرخ انتقال گرما در حالت k متغیر
۷۲ - ۳	۶ - مقاومت گرمایی
۷۳ - ۳	۷ - دیوار مرکب
۷۹ - ۳	۸ - عایق بندی
۸۱ - ۳	۹ - مقاومت گرمایی تماس
۸۳ - ۳	۱۰ - شعاع بحرانی
۸۷	تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۳ (بخش ۱: مختصات کارتزین)
۹۸	پاسخ تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۳ (بخش ۱: مختصات کارتزین)
۱۰۷	تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۳ (بخش ۲: مختصات استوانه‌ای)
۱۱۱	پاسخ تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۳ (بخش ۲: مختصات استوانه‌ای)
۱۱۴	تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۳ (بخش ۳: مختصات کروی)
۱۱۸	پاسخ تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۳ (بخش ۳: مختصات کروی)
۱۲۱	تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۳ (بخش ۴: دیواره‌های مرکب و عایق بندی)
۱۳۱	پاسخ تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۳ (بخش ۴: دیواره‌های مرکب و عایق بندی)
۱۳۹	فصل چهارم: سطوح گسترش یافته (پرده‌ها)
۱۳۹ - ۱	۱ - مقدمه
۱۳۹ - ۲	۲ - معادله دیفرانسیل حاکم
۱۴۲ - ۳	۳ - توزیع دما در پرده‌های با سطح مقطع یکنواخت

۱۴۵	۴ - ۴. انتقال گرما در پره ها.
۱۴۶	۴ - ۵. راندمان پره
۱۴۷	۴ - ۶. ضریب تأثیر پره
۱۵۰	۴ - ۷. روش هارپر و براون
۱۵۱	تست های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۴
۱۵۸	پاسخ تست های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۴

فصل پنجم: انتقال گرمای هدایتی چندبعدی

۱۶۳	۵ - ۱. مقدمه
۱۶۳	۵ - ۲. روشهای عدسی
۱۶۵	۵ - ۳. تعیین ضریب شکل هدایت گرمایی در روش ترسیمی
۱۷۶	تست های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۵ (بخش ۱)
۱۷۹	پاسخ تست های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۵ (بخش ۱)
۱۸۰	تست های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۵ (بخش ۲)
۱۸۱	پاسخ تست های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۵ (بخش ۲)

فصل ششم: هدایت گرمایی ناپایا

۱۸۷	۶ - ۱. روش ظرفیت گرمایی فشرده
۱۸۷	۶ - ۲. اثرات مکانی
۱۹۵	۶ - ۳. جسم نیمه بی نهایت
۱۹۵	۶ - ۴. نمودارهای هسلر
۱۹۸	۶ - ۵. ترموکوپل ها
۱۹۹	۶ - ۶. روش های تفاضل محدود برای انتقال گرمایی ناپایا
۲۰۰	۶ - ۷. هدایت ناپایا در سیستم های چند بعدی
۲۰۴	تست های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۶
۲۰۷	پاسخ تست های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۶

فصل هفتم: انتقال گرمای جابه جایی

۲۲۵	۷ - ۱. مقدمه
۲۲۵	۷ - ۲. لایه مرزی سرعت
۲۲۷	۷ - ۳. لایه مرزی گرمایی
۲۲۹	۷ - ۴. معادلات لایه مرزی
۲۳۰	۷ - ۵. تشابه رینولدز
۲۳۲	۷ - ۶. تشابه رینولدز - کلبورن
۲۳۳	۷ - ۷. جریان روی صفحه تخت
۲۳۴	۷ - ۸. جریان حول استوانه و کره
۲۴۳	۷ - ۹. جریان داخلی
۲۴۸	تست های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۷ (بخش ۱: جریان روی صفحه)
۲۵۹	پاسخ تست های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۷ (بخش ۱: جریان روی صفحه)
۲۷۲	تست های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۷ (بخش ۲: تشابه رینولدز - کلبورن)
۲۸۱	پاسخ تست های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۷ (بخش ۲: تشابه رینولدز - کلبورن)
۲۸۴	تست های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۷ (بخش ۳: جریان روی کره و استوانه)
۲۸۶	پاسخ تست های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۷ (بخش ۳: جریان روی کره و استوانه)
۲۸۸	تست های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۷ (بخش ۴: جریان داخل لوله)
۲۸۹	پاسخ تست های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۷ (بخش ۴: جریان داخل لوله)

۳۰۳	فصل هشتم: جابه‌جایی طبیعی
۳۰۳	۸-۱- مقدمه
۳۰۴	۸-۲- معادلات حاکم بر انتقال گرمای جابه‌جایی طبیعی
۳۰۵	۸-۳- تعیین توزیع سرعت و توزیع دما
۳۰۵	۸-۴- روابط جابجایی طبیعی
۳۰۶	۸-۵- جابجایی طبیعی روی صفحه تخت
۳۱۲	۸-۶- جابجایی طبیعی روی استوانه
۳۱۴	۸-۷- جابجایی طبیعی روی کره
۳۱۵	۸-۸- جابه‌جایی طبیعی داخل محفظه‌های بسته
۳۱۶	۸-۹- انتقال گرمای جابه‌جایی اجباری طبیعی توام
۳۱۷	تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۸
۳۲۳	پاسخ تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۸
۳۲۷	فصل نهم: جوشش و میعان
۳۲۷	۹-۱- جوشش و میعان
۳۲۷	۹-۲- جوشش
۳۳۲	۹-۳- میعان
۳۳۷	تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۹
۳۴۲	پاسخ تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۹
۳۴۵	فصل دهم: مبدل‌های گرمایی
۳۴۵	۱۰-۱- مقدمه
۳۴۵	۱۰-۲- انواع مبدل‌های گرمایی
۳۴۹	۱۰-۳- رسوب‌گذاری
۳۵۰	۱۰-۴- تحلیل مبدل‌های گرمایی
۳۵۷	۱۰-۵- قطر معادل
۳۵۹	تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۱۰
۳۶۶	پاسخ تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۱۰
۳۷۱	فصل یازدهم: اعداد بی‌بعد
۳۷۱	۱۱-۱- عدد رینولدز
۳۷۱	۱۱-۲- عدد پراتل
۳۷۲	۱۱-۳- عدد ناسلت
۳۷۲	۱۱-۴- عدد بيو
۳۷۳	۱۱-۵- عدد فوریه
۳۷۳	۱۱-۶- عدد گرافش
۳۷۳	۱۱-۷- عدد پکلت
۳۷۳	۱۱-۸- عدد رابلی
۳۷۴	۱۱-۹- عدد استانتون
۳۷۴	۱۱-۱۰- عدد اکرت
۳۷۴	۱۱-۱۱- عدد گراتز
۳۷۴	۱۱-۱۲- عدد لویس
۳۷۴	۱۱-۱۳- عدد برینکمن
۳۷۵	تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۱۱
۳۸۰	پاسخ تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۱۱

فصل دوازدهم: تشعشع.....	۳۸۳
۱- ۱۲- مقدمه.....	۳۸۳
۲- ۱۲- خواص تشعشع.....	۳۸۵
۳- ۱۲- قانون کیرشهف.....	۳۸۷
۴- ۱۲- قانون توزیع پلانک.....	۳۸۸
۵- ۱۲- قانون استفان بولتزمن.....	۳۸۹
۶- ۱۲- قانون جابه‌جایی وین.....	۳۸۹
۷- ۱۲- تبادل گرمای تشعشعی بین سطوح سیاه.....	۳۹۱
۸- ۱۲- تبادل گرمای تشعشعی بین سطوح خاکستری و دیفیوز در یک محفظه.....	۳۹۱
۹- ۱۲- سپرهای تشعشعی.....	۳۹۴
۱۰- ۱۲- انتقال گرمای تشعشعی در گازها.....	۳۹۵
۱۱- ۱۲- پدیده گلخانه‌ای.....	۳۹۷
۱۲- ۱۲- تعیین ضریب شکل.....	۳۹۷
تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۱۲ (بخش ۱: تشعشع).....	۴۰۲
پاسخ تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۱۲ (بخش ۱: تشعشع).....	۴۱۵
تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۱۲ (بخش ۲: ضریب شکل).....	۴۲۵
پاسخ تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۱۲ (بخش ۲: ضریب شکل).....	۴۳۲
تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۱۲ (بخش ۳: کوره‌ها).....	۴۴۰
پاسخ تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۱۲ (بخش ۳: کوره‌ها).....	۴۴۱
تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۱۲ (بخش ۴: مکانیسم‌های انتقال حرارت).....	۴۴۲
پاسخ تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد فصل ۱۲ (بخش ۴: مکانیسم‌های انتقال حرارت).....	۴۴۵
واژه‌نامه.....	۴۴۷
مراجع.....	۴۵۰
تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری از سال ۱۳۹۱ به بعد.....	۴۵۱

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 روش‌های محاسبه نرخ انتقال گرما مورد بررسی قرار نمی‌گیرد. در ترمودینامیک به حالت‌های تعادلی ماده پرداخته می‌شود که لازمه آن عدم وجود گرادیان دما است و این نکته که انتقال گرما ماهیتاً غیرتعادلی است مورد بررسی قرار نمی‌گیرد. 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 مکانیسم‌های آن

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

🔹 **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 می‌شود.

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.

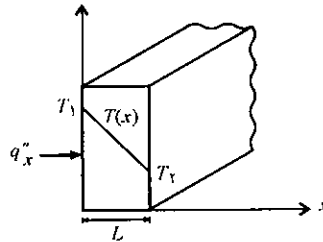
انرژی که مولکول‌ها دارا هستند بواسطه حرکات خطی، دورانی و نوسانی آن‌ها است و با افزایش دما افزایش می‌یابد.

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 فوری 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.

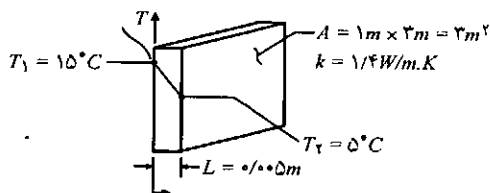
نرخ انتقال گرما در دیواره از رابطه $q_x = q''_x A$ بدست می‌آید که A سطح مقطع عمود بر جهت انتقال گرما است.

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 $1\text{ m} \times 3\text{ m}$ 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.

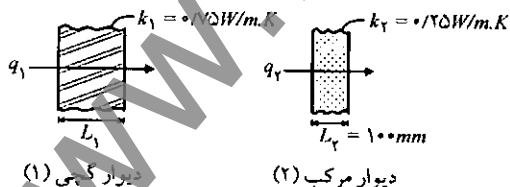
با استفاده از قانون فوری داریم:

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

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

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 فوری داریم:

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

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

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

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:

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

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

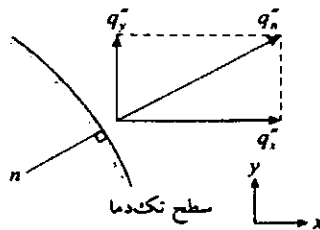
که شکل سه بعدی قانون فوریه نامیده می‌شود. نشان دهنده این است که بردار شار گرمایی متناسب با گرادیان دما است.

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 غیر ایزوتروپیک یا ناهمسانگرد: موادی هستند که ضریب هدایت گرمایی آنها در جهات مختلف یکسان نیست مانند چوب و کریستالهای غیر مکعبی.

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:

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

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

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

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 می گیرد. انتقال گرما نمی تواند از جای سرد به جای گرم صورت گیرد چون قانون دوم ترمودینامیک نقض می شود.
- ۳- این قانون برای هر دو حالت پایا و ناپایا صادق است.
- ۴- این قانون برای تمام حالت های 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 می توان آن را به صورت نسبت شار انتقال گرما به گرادیان دما تعریف کرد:

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

ضریب هدایت گرمایی معیاری از قابلیت مواد در هدایت گرما است. واحد آن در سیستم SI، W/m^2K و در سیستم انگلیسی $Btu/ft^2 \cdot hr \cdot R$ است. اجسام را برحسب k می توان به سه دسته زیر تقسیم کرد:

(۱) هادی: دارای k زیاد

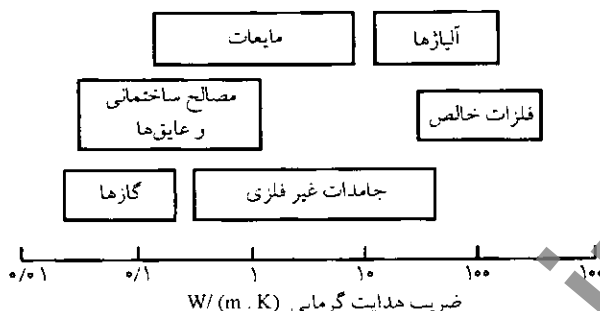
(۲) نیمه هادی: دارای k متوسط

(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 در 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 یفی) 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 ($k \uparrow : T \uparrow$)

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) 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 جامدی ساخته است که ضریب رسانایی گرمایی (k) آن با دما

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

۱) خیر، چون خاصیت ابر رسانایی دارد.

۲) بلی، چون عایق بسیار خوبی است.

۳) بلی، چون بعضی آلیاژها چنین رفتاری دارند.

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

حل:

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

در دماهای پایین‌تر از $1300^\circ C$ 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.

$$\sqrt{T} \quad (۴)$$

$$\sqrt{T} \quad (۳)$$

$$T \quad (۲)$$

$$T \quad (۱)$$

حل:

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

در گازها:

گزینه (۴) صحیح است.

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.

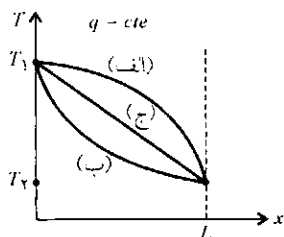
(۴) هیچکدام

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:

$$k = k_0 (1 + \beta T) \quad (13-1)$$

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:

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

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.

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

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:

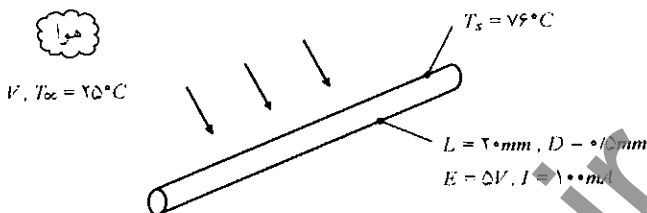
$$\text{الف)} \quad q''_{air} = h(T_s - T_\infty) = 40 \times (3 - (-5)) = 1400 \text{ W/m}^2$$

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

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 $T_\infty = 25^\circ\text{C}$ ، $T_s = 75^\circ\text{C}$ ، $V = 6/25 \times 10^{-5} \text{ h}^2$ برقرار است. هوا در دمای ثابت $T_\infty = 25^\circ\text{C}$ ، سطح بادسنج در دمای ثابت $T_s = 75^\circ\text{C}$

افت ولتاژ الکتریکی $5V$ و جریان $1A$ است. سرعت هوا را تعیین کنید.
حل:



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

$$P_{elec} = EI = hA(T_s - T_w)$$

$$A = \pi DL = \pi \times 0.0002 \times 0.002 = 3/14 \times 10^{-5} m^2$$

$$h = \frac{EI}{A(T_s - T_{\infty})} = \frac{5 \times 1}{3/14 \times 10^{-5} \times 50} = 318 W/m^2 K$$

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

در معادله فوق h ضریب انتقال گرمای جابه‌جایی، 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 ، $W/m^2 K$ است.

انتقال گرمای جابه‌جایی یک کمیت مقداری است و به جهت بستگی ندارد

نکته: ضریب جابه‌جایی گرمایی: گاز > مایع

نکته: ضریب جابه‌جایی گرمایی: جابه‌جایی آزاد > جابه‌جایی اجباری > جوش > میعان

جدول ۱-۱ - محدوده ضریب انتقال گرمای جابه‌جایی

فرایند	$h (W/m^2 K)$
جابجایی آزاد:	
گازها	۵ - ۲۵
مایعات	۵۰ - ۱۰۰۰
جابجایی اجباری:	
گازها	۲۵ - ۲۵۰
مایعات	۱۰۰ - ۲۰۰۰۰
جوش و میعان	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:

$$q = A\sigma T_s^4 \quad (۱-۱۵)$$

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:

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

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

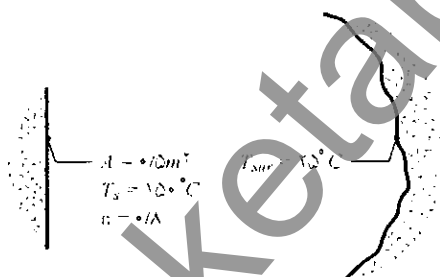
انتقال گرمای تشعشعی خالص عبارت است از اختلاف بین نرخ تشعشع خروجی توسط سطح و تشعشع جذب شده.

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 هیچ‌گونه تقابلی با تشعشع ندارد جدا شده باشد نرخ خالص انتقال گرمای تشعشعی بین دو سطح برابر خواهد بود با:

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

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:

$$\begin{aligned} q_{emit} &= A \epsilon \sigma T_s^4 \\ &= 0.5 \times 0.8 \times (5/67 \times 10^{-8}) \times (150 + 273)^4 = 726 W \end{aligned} \quad (ب)$$

$$\begin{aligned} q &= \epsilon \sigma A (T_s^4 - T_{surr}^4) \\ &= 0.8 (5/67 \times 10^{-8}) \times 0.5 (423^4 - 298^4) = 547 W \end{aligned}$$

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:

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

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 به 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:

- (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؟

(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:

$$\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out} + \dot{E}_{gen} = \dot{E}_{st} \quad (1-20)$$

$\dot{E}_{in}$: 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 $(\frac{dE_{st}}{dt})$

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:

$$E_{in} - E_{out} + E_{gen} = \Delta E_{st} \quad (1-21)$$

انرژی‌های ورودی و خروجی پدیده‌های سطحی هستند این انرژی‌ها تنها در سطح کنترل مبادله شده و متنا سب 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 $10 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ قرار دارد. انرژی خورشیدی نیز با شدت 500 W/m^2 به دیواره می‌تابد. اگر درون این دیواره انرژی با نرخ 3 kW/m^3 تولید شود دمای سطح دیواره در شرایط پایا چند $^\circ\text{C}$ است؟

- (۱) ۴۰ (۲) ۶۰ (۳) ۹۰ (۴) ۳۶۰

حل:

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

$$3000 \times 0.1A + 500A = 10A(T_s - 10) \Rightarrow T_s = 100^\circ\text{C}$$

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 $h = 12 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ می‌باشد. دمای سطح بیرونی کره بر حسب درجه سانتی‌گراد چقدر است؟

- (۱) ۲۰ (۲) ۲۵ (۳) ۳۰ (۴) ۳۵

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.

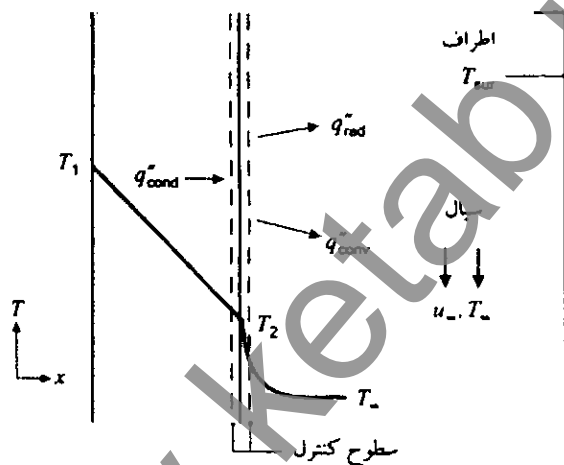
۱-۴-۲- قانون بقای انرژی برای سطح کنترل

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:

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

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:

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



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 $\rho C_p > 1 \text{ MJ/m}^3 \text{K}$ 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:

$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p} \quad (1-23)$$

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.

توجه: α برای فلزات در حدود $10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ تا $10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ ، و برای مواد عایق در حدود $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ تا $10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ است.

مثال: ضریب نفوذ گرمایی نمایانگر

- (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.

- (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.