

گرما و آثار آن

تألیف اسفندیار معتمدی



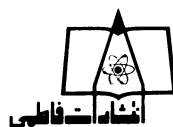
گرما و آثار آن

تألیف اسفندیار معتمدی

مؤسسه انتشارات فاطمی

تهران-۱۳۶۶

چاپ اول: ۱۳۶۴



گرما و آثار آن

مؤلف: اسفندیار معتمدی

چاپ دوم: شهر یورماه ۱۳۶۶

تیراژ: ۶۶۰۰ نسخه

چاپ و صحافی: چاپخانه مسعود سعد

کلیه حقوق برای ناشر محفوظ است

نشانی: تهران، خیابان دکتر فاطمی، شماره ۱۵۹

تلفن: ۶۵۱۴۲۲

سخنی دربارهٔ این کتابها

هر جامعه به پاخاسته‌ای، برای دست یافتن به خود کفایی و گسستن هرگونه زنجیر وابستگی سیاسی و اقتصادی، تلاش می‌کند تا علم و دانش و صنعت و فن و هنر را در میان همگان، خاصه نوجوانان و جوانان و دانشپژوهان، گسترش دهد. نظام آموزشی را دگرگون می‌کند. کتابهای درسی را پربارتر می‌کند و از دانشهای کهنه و سرگرم کننده می‌زداید. علم را با عمل و دانستن را با اندیشیدن و به کار بستن می‌آمیزد. برای هرگونه کتابی که دانشهای نو و تازه‌ترین یافته‌های دانشمندان و پژوهشگران به آنها راه یافته است، پایگاهی بس ارجمند می‌شناسد. می‌داند که بسیار نکته‌هاست که کتاب درسی فرصتی نمی‌یابد به آنها پردازد یا افزونتر از اشاره‌هایی در این زمینه‌ها داشته باشد. چنین جامعه‌ای تلاش می‌کند تا دانش آموختگان به گونه‌ای بارآیند که برای زندگی امروز و فردای خود و جامعه خویش کارآمدتر و مؤثرتر باشند و از خلق کردن و دست‌یازیدن به هنرها و صنعتها و اختراعتها و اکتشافها و سودبردن از دانستن برای بهتر زیستن باز نمانند.

مؤسسه انتشارات فاطمی، باتوجه به این نیازها، رسالتی را برعهده گرفته است و انتشار مجموعه کتابهایی را در زمینه علوم و دانستنیها آغاز کرده است که آنها را گنجینه دانش نامیده است. این کتابها به پرسشهای آدمی دربارهٔ خود و جهان پیرامونش، و کنجکاو یهایش در زمینه‌های گوناگون علم و کاربردهایش پاسخ می‌گوید. برای انتشار آنها از بهترین و تازه‌ترین کتابهای علمی جهان استفاده می‌شود. در کارنوشتن و تألیف و ترجمه آنها از همکاریهای زبده‌ترین کارشناسان آموزش و پرورش کشورمان و پژوهشگران در زمینه‌های گوناگون علوم بهره می‌برد. تا آنجا که میسر و ممکن است تلاش می‌شود تا اشتباه و لغزشی در آنها راه نیابد.

کتابهای گنجینه دانش هم خودآموزند، هم یاری‌دهنده به فهم کتابهای درسی، هم آماده‌کننده دانش‌آموزان برای موفقیت در امتحانات در رشته‌های گوناگون علمی و کنکور دانشگاهها، و هم راهنمای معلمان برای تدریس علم.

اگر به اندکی از این رسالت در راه بازسازی جامعه علمی کشورمان رسیده باشیم، خدای را سپاس می‌گوییم که خدمتی درخور جامعه‌ای بزرگ برعهده گرفته ایم، حتی اگر اندک باشد.

فهرست

پیشگفتار

۷

هدفهای کلی

۹

فصل اول - گرما و ساختمان ماده

۱۱

هدفهای رفتاری - ۱۱ / گرما چیست؟ - ۱۱ / تئوری مولکولی ماده - ۱۳ / حالت‌های مختلف ماده - ۱۷ / آثار گرما - ۱۹ / منابع انرژی گرمایی - ۲۰ /

فصل دوم - دما و دماسنجی

۲۲

هدفهای رفتاری - ۲۲ / دما چیست؟ - ۲۲ / دماسنج و اساس آن - ۲۳ / مدرج کردن دماسنج - ۲۳ / انواع دماسنج - ۲۷ / به این پرسشها پاسخ دهید - ۲۹ /

فصل سوم - اندازه‌گیری مقدار گرما

۳۲

هدفهای رفتاری - ۳۲ / مقدار گرما - ۳۲ / واحدهای گرما - ۳۳ / ظرفیت گرمایی - ۳۳ / ظرفیت گرمایی ویژه - ۳۳ / اصول تعادل گرمایی - ۳۴ / گرماسنج - ۳۵ / این مسئله‌ها را حل کنید - ۳۹ /

فصل چهارم - انبساط جامدات و مایعات

۴۱

هدفهای رفتاری - ۴۱ / انبساط جامدات - ۴۱ / چند نکته در انبساط جامدات - ۴۸ / انبساط مایعات - ۴۸ / این مسئله‌ها را حل کنید - ۵۳ /

فصل پنجم - انبساط گازها

۵۷

هدفهای رفتاری - ۵۷ / قانون بویل-ماریوت - ۵۷ / قانون دالتن - ۵۹ / رابطه دما و حجم گاز در فشار ثابت - ۶۰ / رابطه دما و فشار گاز در حجم ثابت - ۶۱ / اندازه‌گیری ضریب انبساط گازها - ۶۲ / قانون عمومی گازها - ۶۴ / حالت‌های خاص - ۶۵ / جرم و جرم حجمی گاز - ۶۷ / معادله گازهای حقیقی - ۶۸ / ظرفیت گرمایی ویژه گازها - ۶۹ / انبساط و تراکم بی‌دررو - ۷۱ / این مسئله‌ها را حل کنید - ۷۱ /

فصل ششم - تغییر حالت ماده

۷۶

هدفهای رفتاری - ۷۶ / انواع تغییر حالت - ۷۶ / ذوب - ۷۷ / انجماد و قوانین آن - ۸۰ /
تبخیر - ۸۴ / میعان - ۹۰ / نقطهٔ سه گانهٔ آب - ۹۱ / این مسئله‌ها را حل کنید - ۹۲

فصل هفتم - انتقال گرما

۹۵

هدفهای رفتاری - ۹۵ / راههای انتقال گرما - ۹۵ / رسانایی در جامدات - ۹۶ / جا به
جایی یا همرفت - ۹۸ / کاربرد پدیدهٔ جا به جایی - ۱۰۰ / تابش - ۱۰۰ / چند نکته در
بارء رنگ و تابش - ۱۰۱ /

فصل هشتم - اصول ترمودینامیک

۱۰۳

هدفهای رفتاری - ۱۰۳ / انرژی گرمایی - ۱۰۳ / تبدیل کار به گرما - ۱۰۴ / اصل اول
ترمودینامیک - ۱۰۶ / نتیجهٔ اصل اول ترمودینامیک - ۱۰۷ / تحول بی‌دررو - ۱۰۷ /
تحول با حجم ثابت - ۱۰۸ / تحول با فشار ثابت - ۱۰۸ / ماشینهای گرمایی - ۱۱۰ /
اصل دوم ترمودینامیک - ۱۱۲ / بازده صنعتی و بازده علمی ماشینها - ۱۱۳ /

خودآزمایی

۱۱۵

پاسخنامه

۱۳۲

پیوستها

۱۳۳

فرهنگ اصطلاحات

۱۴۳

مآخذ

۱۴۷

پیشگفتار

انسان برای ادامهٔ زندگی، به محیطی با دمای مناسب نیاز دارد. اگر دمای محیط از حد مشخصی بیشتر شود، فرد احساس گرما، و اگر از حد معینی کمتر شود، فرد احساس سرما می‌کند. این دو احساس نامطلوب است که شخص را از حالت تعادل دور ساخته و منشأ بسیاری از فعالیت‌های بدنی و ذهنی او شده و وی را متوجه گرما و منابع و آثار آن کرده است؛ نیاز انسان به گرما و منابع آن به حدی است که حتی در بعضی مناطق سرد زمین نوعی احترام و پرستش را برای آن سبب شده است. تهیهٔ پوشاک مناسب، کوچ کردن و انتقال‌های فصلی، ساختن خانه و مسکن، تهیه و انبار کردن مواد سوختنی، نمونه‌هایی از کوشش‌های انسان در راه به دست آوردن دمای مناسب برای زندگی است.

موضوع گرما به دلیل نیاز انسان و محسوس بودن آثار آن، مورد توجه و تحقیق دقیق قرار گرفته است. پس از آنکه در قرن شانزدهم علم فیزیک به صورت کنونی آن از فلسفهٔ طبیعی جدا شد، گرما و به دنبال آن مبحث ترمودینامیک از بخش‌های عمدهٔ فیزیک گردید؛ در فیزیک مدرن نیز، بخش فیزیک مولکولی و آماری، بررسی‌های مربوط به گرما را دنبال کرد.

بخش گرما که در این کتاب مورد بحث است، ابتدا از ماهیت گرما و دما و اندازه‌گیری هریک سخن می‌گوید و سپس به معرفی ماده و حالت‌های گوناگون آن می‌پردازد؛ آن‌گاه آثاری که انرژی گرمایی بر ماده دارد بررسی می‌شود. از نمونه اثرهای گرما بر ماده، مبحث تغییر حجم و تغییر حالت فیزیکی، تفصیل بیشتری یافته است. برای آنکه مجموع مطالب، دارای پیوستگی منطقی باشد، تئوری مولکولی ماده به عنوان اساس کار تشریح شده است. موضوع تبدیل گرما به کار

که اساس ماشینهای حرارتی است و اصولی که براین تغییر و تبدیل حاکم است، در بخش آخر کتاب بررسی گردیده است.

کوشش بر آن بود که در این کتاب، به بسیاری از پرسشهایی که در کلاسهای درس و نیز محل کار و سکونت در مورد گرما مطرح می شود پاسخ داده شود؛ ولی به هنگام نوشتن مشخص شد که در این نوشته محدود، امکان تشریح کامل همه موارد وجود ندارد. از این رو بر آن شدیم تا با طرح و حل مثالها و طرح پرسشها و مسائلی در آخر هر بخش و همچنین طرح تستهایی در بخش آخر کتاب، مفاهیم گرما در فیزیک متوسطه، در سطحی بالاتر و عمیق تر آموزش داده شود و امکان راه یافتن به دانشگاه و ادامه تحصیلات عالی و در نتیجه رسیدن به پاسخهای کامل تر میسر شود.

اسفندیار معتمدی

آذر ۶۳

هدفهای کلی

هدفهای کلی این کتاب آشنا کردن خواننده با گرما و آثار آن است. انتظار می‌رود که خواننده با مطالعه آن:

۱- تئوری مولکولی ماده را بیاموزد و با استفاده از آن مفهوم گرما و دما را دریابد.

۲- اثرهای گرما بر ماده را بشناسد و هریک را تجزیه و تحلیل کند.

۳- اصول تبدیل کار به گرما را فراگیرد و با نمونه‌ای آزمایشگاهی که این تبدیل را انجام می‌دهند آشنا شود.

گرما و ساختمان ماده

هدفهای رفتاری

انتظار می‌رود خواننده با مطالعه این بخش بتواند:

- ۱- اصطلاحات گرما، انرژی درونی ماده، جامد، مایع و گاز را تعریف کند.
- ۲- تئوری مولکولی ماده را بشناسد و با استفاده از آن بتواند تصویری از ساختمان ماده ارائه دهد.
- ۳- نیروهای جاذبه مولکولی و ماهیت آن را بشناسد.
- ۴- ماهیت گرما و انرژی درونی ماده را دریابد.
- ۵- حالت‌های مختلف ماده را بشناسد و با استفاده از تئوری مولکولی ماده هر حالت را توجیه کند.
- ۶- آثار مختلف گرما و همچنین منابع انرژی گرمایی را نام برد.

گرما چیست؟

انسان از گذشته‌های دور در برابر این پرسش که «گرما چیست؟» قرار گرفته است و هر زمان به نحوی به آن پاسخ داده است. یونانیان باستان گرما (آتش) را یکی از چهار عنصر اولیه^۱ می‌دانستند که جهان از آنها ساخته شده بود. متفکران اسلامی نیز همین نظریه را پذیرفتند

۱- Heat

۲- عناصر چهارگانه عبارت بودند از: آب، خاک، آتش و هوا.

و سپس آن را به اروپا منتقل کردند. این نظریه در اروپا مورد قبول کلیسا قرار گرفت و تا قرن هیجدهم میلادی کسی را یارای آن نبود که در آن شك کند، چون هرگونه شکی در اندیشه مورد قبول کلیسا، کفر بود و صاحب اندیشه سزاوار مجازات.

اولین عاملی که باعث شد در تعداد عناصر، و از جمله عنصر گرما شك ایجاد شود، دانش کیمیا بود. در این علم هرچند که نتوانستند عنصری را به عنصر دیگری تبدیل کنند، ولی توانستند شیمی جدید را پایه گذاری کنند و عنصر را از غیر عنصر بشناسند و تعداد آنها را مشخص کنند.

در سال ۱۶۶۸ دایرت بویل کتابی تحت عنوان شیمیدانان شك یا شکیات و تناقضات نسبت به عناصر کیمیاگران انتشار داد، و در آن عنصرهای سازنده جهان را مادی و احساس پذیر معرفی کرد. او نیز در این کتاب آتش را از عناصر اولیه طبیعت دانست. پس از او لاولوایه (۱۷۴۳-۱۷۹۴) نیز از عنصر گرما را نام برد. جیمز بلاک^۱ این عنصر را کالریک یا کالر نامید. کالر می توانست به راحتی به جسمی وارد و از آن خارج شود، و آن جسم را گرمتر یا سردتر کند. در برابر این نظریه ها نسبت به گرما، دانشمندان دیگری، ماهیت گرما را حرکت مولکولهای دانستند. فرانسیس بیکن (۱۵۶۱-۱۶۲۶) در کتابش به نام ارگانون نو^۲ نوشت: «گرما از لحاظ ماهیت خود چیزی جز حرکت نیست... گرما عبارت است از حرکت متغیر اجزای بسیار ریز جسم». در اواخر قرن هیجدهم (مفرد^۳ ۱۷۵۳-۱۸۱۴) در کتابش می نویسد: «هرقدر ذرات تشکیل دهنده جسم شدیدتر حرکت کنند، جسم گرمتر خواهد بود؛ همان طور که هرقدر زنگ شدیدتر به ارتعاش درآید، صدای آن بلندتر خواهد شد». رمفرد، هنگامی که به یک کارخانه چوب بری رفته بود، مشاهده کرد که وقتی چوبها رنده می شوند، رنده و سطح چوب گرم می شوند، در صورتی که منبع گرمایی وجود ندارد. رمفرد در برابر این سؤال قرار گرفت که: «گرما از کجا آمده است؟» و به بررسی پرداخت و سرانجام معتقد شد که کار انجام شده توسط رنده از طریق اصطکاک، به گرما تبدیل شده است. پاسخ رمفرد توسط همفری دیوی^۴ تأیید تجربی شد. او با مالش دو قطعه یخ به یکدیگر، یخها را ذوب کرد، و معتقد شد: «علت مستقیم ایجاد گرما، حرکت است».

ژول^۵ (۱۸۱۸-۱۸۸۹) با اعتقاد به اینکه گرما، نوعی انرژی است که مربوط به حرکت

۱- James Black

۲- ارگانون (ارغنون) واژه ای یونانی به معنی پژوهش علمی یا تفکر علمی است.

۳- Count Rumford

۴- Humphry Davy

۵- James Prescott Joule

ذرات ماده می‌باشد، رابطه تبدیل انرژی مکانیکی به انرژی گرمایی را به دست آورد. او در سال ۱۸۴۳ به دنبال آزمایشهایی که در آزمایشگاه اختصاصی خود انجام داد، به این نتیجه رسید: «کار انجام یافته به وسیله يك وزنه يك پوندی بر اثر اصطكاك زمین، در مسافت ۷۷۲ پا اگر به مصرف تولید گرما برسد، دمای يك پوند آب را به اندازه يك درجه فارینهایت بالا خواهد برد».

مطالعات بعدی روی گرما توسط بولتزمن در آلمان، جیمز کلاک ماکسول^۲ در انگلستان و گیبس در آمریکا انجام گرفت و سرانجام تئوری مولکولی ماده، ماهیت حرارت را کاملاً مشخص کرد.

تئوری مولکولی ماده

تئوری مولکولی ماده توضیحی است برای شناختن ساختمان و حالت‌های مختلف ماده، گرما، دما و بسیاری از ویژگی‌ها و رفتارهای ماده مانند انبساط، انقباض و تغییر حالت ماده. این تئوری که بسیاری از پدیده‌های طبیعت و قوانین حاکم بر ماده را تعبیر و تفسیر می‌کند، بر اساس فرض‌ها و واقعیتهای زیر قرار دارد:

الف - هر ماده از تعداد زیادی ذره‌های کوچک به نام مولکول تشکیل شده است.

ب - مولکول‌ها به هم چسبیده نیستند و فاصله نسبتاً بزرگی بین آنها موجود است.

ج - مولکول‌ها همیشه در حال حرکتند.

د - مولکول‌ها بر هم نیرو وارد می‌کنند.

ه - گرما، مستقل از انرژی مکانیکی مولکول‌های جسم نیست.

اکنون به تشریح این موارد می‌پردازیم:

اندیشه‌های اولیه تئوری مولکولی مربوط به دانیل برنولی (۱۷۰۰-۱۷۸۲) است. او معتقد بود که مولکول‌های يك گاز در فضای ظرف، دائماً در حال حرکت هستند؛ سرعت، امتداد و جهت حرکت این مولکول‌ها به سبب برخورد به یکدیگر و به جدار ظرف دائماً در حال تغییر است. اندیشه برنولی و دیگران را، برادون^۳ با آزمایش مشهور خود، تحقیق کرد.

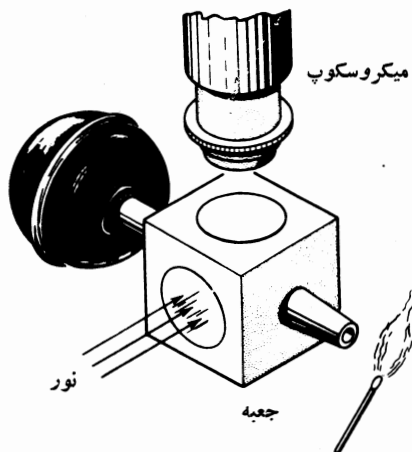
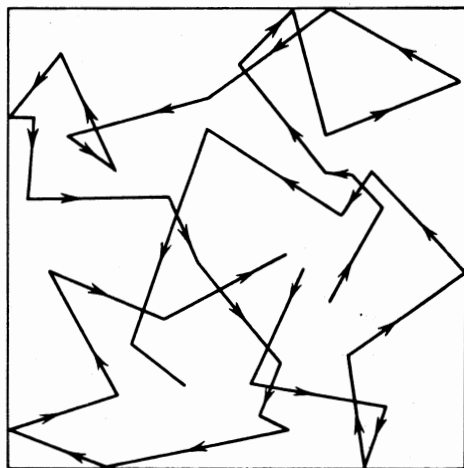
۱ - درجه فارینهایت بعداً توضیح داده می‌شود. يك پوند ۴۵۳ گرم و يك پا حدود ۳۰ سانتیمتر است.

۲ - برای آشنایی با زندگی ماکسول به کتاب فیزیک و نام‌آوران آن از همین مجموعه مراجعه شود.

۳ - گیاه‌شناس اسکاتلندی (۱۷۷۳-۱۸۵۸) Robert Brown

حرکت براونی^۱ - شاید تاکنون از بازارهای سر بسته عبور کرده و نور آفتاب را که از روزنه کوچک سقف به کف بازار می‌تابد، دیده باشید. اگر به مسیر اشعه در این فضای کم نور توجه کنیم، ملاحظه خواهیم کرد که ذره‌های گرد و غبار موجود در فضا، به‌طور نامنظم و دائمی حرکت می‌کنند.

براون این تجربه را روی مایعات آزمایش کرد. آزمایش براون را به این صورت می‌توان تکرار کرد که در یک لیوان شیشه‌ای مقداری آب، یا مایع شفاف دیگری بریزیم و آن را روی پایه‌ای در مسیر نور قرار دهیم. اگر با دقت به مایع درون لیوان نگاه کنیم، حرکت دائمی و نامنظم ذرات معلق در مایع را خواهیم دید. این حرکت ذرات، به‌صورت‌های گوناگون مشاهده شده است. در شکل ۱ حرکت دائمی ذرات ریز دود سیگار و دستگاهی که برای مشاهده آنها ساخته شده است دیده می‌شود.



مسیر نامنظم و اتفاقی حرکت يك مولکول

می‌توان حرکت براونی را به کمک دود مشاهده کرد

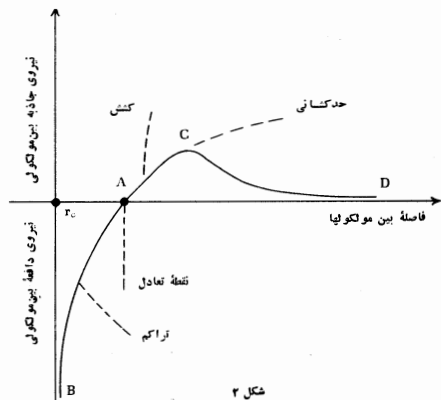
شکل ۱- حرکت دائمی ذرات میکروسکوپی در داخل مایعات و گازها
دلیل قاطعی بر تئوری جنبش مولکولی می‌باشد.

این حرکت دائمی ذره‌های گرد و غبار و دود را حرکت براونی می‌نامند و عامل این حرکتها را اثر مولکولهای بسیار ریزی می‌دانند که دائماً در حال حرکتند و مانند بازیگران نامرئی ذره‌های قابل مشاهده را به این سو و آن سو حرکت می‌دهند و بردیواره ظرف خود ضربه می‌زنند.

۱- براون، در سال ۱۸۲۷ متوجه این حرکت ذرات شد و اکنون این پدیده به نام حرکت براونی مشهور است.

اندازهٔ هر مولکول بسیار کوچک است، به طوری که هر مولکول گرم از یک ماده، شامل $N = 6.02 \times 10^{23}$ عدد مولکول است (N عدد آووگادرو نامیده می شود). به سبب کوچکی، میکروسکوپهای نوری نمی توانند مولکولها را قابل مشاهده کنند. در گازها، مولکولها حرکت انتقالی دارند و می توانند به سادگی در هرامتداد حرکت کنند، در صورتی که در جامدات، مولکولها فقط دارای حرکت نوسانی هستند و در مایعات مولکولها می توانند در حجم ظرف خود حرکت کنند.

نیروی بین مولکولی - بعضی از ویژگیهای ماده را با قبول نیروی بین مولکولی، می توان تعبیر و تفسیر کرد. برای نمونه، جامدات در برابر تغییر شکل یا تغییر حجم از خود مقاومت نشان می دهند، مایعات در لوله های باریک بالا می روند یا سطح آزاد آنها در این گونه لوله ها پایین تر از سطح آزاد مایع قرار می گیرد و گازها در یکدیگر انتشار می یابند. این ویژگیها را می توان با قبول اینکه دو مولکول که مجاد هم قرار گیرند برهم نیرو وارد می کنند، به سهولت توضیح داد. نیروی بین مولکولی به فاصلهٔ بین مولکولها بستگی دارد و ممکن است به صورت جاذبه یا دافعه ظاهر شود. البته این فاصله در حالت عادی بسیار کم و در مایعات فقط حدود چند برابر ابعاد مولکول است و آن را نظم فواصل کوتاه^۲ می نامند.



در شکل ۲ تغییرات نیروی بین مولکولی در یک جسم جامد، با فاصله نشان داده شده است. به طوری که در شکل دیده می شود، دو مولکول اگر به فاصله r_0 (نقطه A) از یکدیگر قرار گیرند برهم نیرو وارد نمی کنند. این فاصله بین دو مولکول حدود 2×10^{-8} سانتیمتر است. اگر به وسیله نیروهای خارجی دو مولکول را به هم

نزدیک کنیم، نیروی بین آنها به صورت نیروی دافعه ظاهر می شود و هر اندازه فاصله بین آنها کوچکتر شود اندازهٔ نیروی دافعه بزرگتر خواهد شد (از A به طرف B). این نیروی دافعه را می توان هنگام متراکم نمودن جامدات احساس کرد. برای نمونه اگر دو طرف یک قطعه لاستیک را بفشاریم، نیروی دافعه ظاهر می شود که می خواهد لاستیک را به وضع

۱ - با استفاده از اشعه X و روش تفرق از وضع بعضی از مولکولها عکسبرداری شده است.

اولیه خود برگرداند (نیروی کشسانی یا نیروی الاستیک).

اگر دو انتهای قطعه لاستیک را به دوطرف بکشیم، نیروی جاذبه‌ای بین مولکولها ظاهر می‌شود که می‌خواهد لاستیک را به وضع اولیه خود بازگرداند و هر اندازه فاصله بین مولکولها زیاد شود (لاستیک کشیده‌تر شود)، نیروی جاذبه بیشتر ایجاد می‌شود (قسمت AC نمودار). باید توجه داشت که اگر لاستیک از حد معینی بیشتر کشیده شود و فاصله مولکولها از اندازه مشخصی که آن را با r_c نشان می‌دهیم بیشتر شود، نیروی جاذبه بین مولکولها خود به خود کاهش می‌یابد (قسمت CD نمودار) و حتی اگر نیروی خارجی را کاهش دهیم باز هم مولکولها از یکدیگر فاصله می‌گیرند تا آنکه جسم پاره شود. نقطه C را حد کشسانی نامند و موقعی که جسم جامد از این حد گذشت، نیروی جاذبه مولکولی نمی‌تواند آن را به وضع اولیه خود بازگرداند.

ماهیت نیروهای بین مولکولی - انواع نیروهایی که در طبیعت می‌شناسیم عبارتند از: نیروهای جاذبه جرمی، نیروهای الکتریکی، نیروهای مغناطیسی و نیروهای هسته‌ای. در این قسمت منظور آن است که بدانیم منشأ نیروهای بین مولکولی کدام یک از این چهار نوع است.

در باره نیروهای جاذبه جرمی، می‌دانیم که جرم اتمها و اغلب مولکولها بسیار ناچیز است (به طور متوسط بین 10^{-22} تا 10^{-18} گرم) و فاصله آنها نسبت به جرمشان زیاد است؛ از این رو اثر جاذبه جرمی فوق العاده ناچیز خواهد بود و مقدار انرژی پتانسیل مربوط به این نیروها قابل صرف نظر است. در مورد نیروهای مغناطیسی، باید توجه داشت که بسیاری از مواد، فاقد خاصیت مغناطیسی هستند. نیروهای هسته‌ای نیز فقط در فاصله‌های بسیار کم (کمتر از 10^{-14} متر) مؤثرند. با توجه به مطالب بالا «ماهیت و منشأ نیروهای بین مولکولی را، میدان و نیروهای الکتریکی» می‌دانند.

باید توجه داشت که هراتم به تنهایی از نظر الکتریکی خنثی است، ولی موقعی که اتمها می‌خواهند مولکولها را تشکیل دهند، بارهای الکتریکی ذره‌های باردار آنها جابه‌جا می‌شوند و این امر سبب به وجود آمدن پیوندهای مختلف بین اتمها می‌گردد. این پیوندها سبب می‌شوند که اتمها طوری در کنار یکدیگر قرار گیرند که انرژی پتانسیل آنها حداقل باشد. مولکولهای يك ماده نیز وقتی در مجاورت یکدیگر باشند، تحت تأثیر همین پیوندها قرار می‌گیرند. ماده، بسته به مقدار نیرویی که مولکولها برهم وارد می‌کنند و انرژی جنبشی و پتانسیل ذره‌های مختلف آن، ممکن است به صورت جامد، مایع یا گاز ظاهر شود.

ماهیت گرما - از مجموع مطالب گذشته می‌توان چنین نتیجه گرفت که ماده از مولکولهایی تشکیل شده است که متحرك هستند و برهم نیرو وارد می‌کنند؛ این نیرو منشأ

الکتریکی دارد و سبب پیدایش انرژی پتانسیل هرذره می‌شود. اما هرذره متحرك، دارای انرژی جنبشی برابر $E_c = \frac{1}{2}mv^2$ است که m جرم هرذره و v سرعت آن است. هرذره در حالت جامد فقط دارای حرکت نوسانی است، درحالی که در مایعات و گازها سرعت ناشی از حرکت انتقالی نیز وجود دارد. به این ترتیب می‌توان گفت: «هرذره، دارای انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل است و چون هر ماده از تعدادی ذره تشکیل شده است، مجموع آن ذره‌ها نیز دارای انرژی پتانسیل و انرژی جنبشی هستند که مجموع این انرژی‌ها، به انرژی «درونی ماده موسوم است.» پس: $Q = \Sigma E_p + \Sigma E_c$. در این رابطه ΣE_p مجموع انرژی پتانسیل ذره‌های تشکیل دهنده جسم و ΣE_c مجموع انرژی جنبشی آنها هستند و Q انرژی درونی ماده است. باید توجه داشت که این ذره‌ها شامل مولکولها، اتمها، الکترونها و ... می‌باشند.

«اگر دو جسمی که دارای انرژیهای داخلی متفاوت باشند، در مجاورت هم قرار گیرند، به شرط اختلاف دما، قسمتی از انرژی داخلی يك جسم به دیگری منتقل می‌شود؛ در این صورت این انرژی مبادله شده را گرما می‌نامند». گرمایی که از يك جسم گرم به جسم سرد منتقل می‌شود عموماً با کاهش سرعت متوسط حرکت مولکولها و نیز کاهش فاصله بین آنها همراه است.

حالت‌های مختلف ماده

مواد موجود در جهان از ذرات متحرکی که برهم نیرو وارد می‌کنند، تشکیل شده‌اند. فاصله این ذرات از یکدیگر، وابسته به انرژی درونی و نیروهای جاذبه مولکولی و نیز دما و فشار مؤثر بر آنهاست. همین عوامل سبب می‌شوند که مواد به حالت‌های مختلف جامد، مایع و گاز وجود داشته باشند (علاوه بر این سه حالت، دو حالت دیگر به نام پلازما و حالت هسته‌ای شناخته شده است). اگر شرایطی که ماده را در حالت خاصی قرار داده تغییر کند، ممکن است ماده از يك حالت به حالت دیگر تبدیل شود.

در این قسمت ابتدا حالت‌های مختلف ماده را شرح می‌دهیم و سپس شرایط و قوانینی را که حاکم بر تغییر حالت ماده است بررسی می‌کنیم.

حالت جامد- در اجسام جامد، هر مولکول حول وضع تعادل خود دارای حرکت رفت و برگشت است و از جایی به جای دیگر منتقل نمی‌شود، از این رو تا زمانی که نیروی خارجی نسبتاً زیادی بر آن وارد نشود، شکل و حجم جسم ثابت باقی می‌ماند. اجسام جامد را به دو دسته بلودی و بی‌شکل تقسیم می‌کنند. اجسام بلوری، اجسامی هستند که

در دمای ثابت و مشخصی ذوب می‌شوند. در این اجسام، مولکولها با نظم و فاصله در کنار یکدیگر قرار دارند و هر مولکول برای آنکه از سازمان بلوری خود خارج شود، انرژی معینی لازم دارد. اگر دمای جسمی را افزایش دهیم، انرژی درونی ذرات آن بیشتر می‌شود و موقعی که این انرژی بتواند نیروی جاذبه بین مولکولها را خنثی کند، جسم از حالت جامد به مایع تبدیل می‌شود. فلزات، آلیاژهای فلزی، بعضی از غیرفلزات و بسیاری از ترکیبات شیمیایی، جزو مواد بلوری هستند.

چوب، پنبه، عاج و بسیاری دیگر از جامداتی که منشأ گیاهی یا حیوانی دارند، ساختمان منظمی ندارند و بی‌شکل هستند. در اجسام بی‌شکل افزایش دما، سبب افزایش فاصله بین ذرات می‌شود و نیروی جاذبه مولکولی دائماً کاهش می‌یابد و جسم نرم می‌شود تا آنکه کاملاً به مایع تبدیل شود.

نیروهای بین مولکولی و نوع پیوندها در جامدات مختلف، متفاوت است. همین امر سبب می‌شود که اجسام جامد در بسیاری خواص با یکدیگر متفاوت باشند. این خاصیتها عبارتند از: جرم حجمی، سختی، چکش‌خواری، قابلیت مفتول شدن، کشسانی و شکنندگی.

حالت مایع- اگر جسم جامدی را حرارت دهیم انرژی درونی مولکولها و نیز سرعت و دامنه حرکت آنها افزایش می‌یابد و به حالتی می‌رسد که مولکولها می‌توانند در حجم ماده، حرکت انتقالی داشته باشند؛ در این صورت ماده به حالت مایع خواهد بود. در حالت مایع حجم ماده ثابت است، ولی شکل آن تابع ظرف می‌باشد. سطح آزاد مایعات در سطحهای محدود افقی است و نیروی بسیار جزئی می‌تواند آنها را تغییر شکل دهد. در مایعات تغییرات حجم بر اثر افزایش یا کاهش فشار بسیار کم است، ولی فاصله مولکولها کمی بیش از فاصله مولکولها نسبت به حالت جامد ماده است (به جز چند مورد استثنایی).

حالت گاز- حالتی از ماده که شکل و حجم آن ثابت نباشد گاز نامیده می‌شود. در گازها انرژی جنبشی مولکولها بسیار زیاد است، به طوری که اگر عامل خارجی وجود نداشته باشد، مولکولها می‌توانند از یکدیگر دور شوند. گازها در اثر تغییر فشار یا تغییر دما، تغییر حجم نسبتاً زیاد می‌یابند. گازها عموماً بی‌رنگ هستند. سرعت پخش آنها در محیط متفاوت و تابع دما و جرم حجمی آنهاست. گازهایی که در دمای عادی به حالت جامد و یا مایع نیز وجود داشته باشند، بخار نامیده می‌شوند.

حالت پلاسما- مواد مختلف روی زمین به حالت‌های جامد، مایع و گاز موجودند و کاهش و افزایش دما می‌تواند آنها را به یکدیگر تبدیل کند. افزایش دما، نیروی پیوندی بین ذرات را کاهش می‌دهد و اگر دمای یک ماده به چهار یا پنج هزار درجه برسد، مولکولهای ماده به صورت اتمهای مجزا ظاهر می‌شوند. چنانچه درجه حرارت باز هم بیشتر شود برخورد

اتمها به یکدیگر بیشتر می شود و پیوند الکترونها با هسته مرکزی سست می گردد، در نتیجه الکترونها وهسته ها در تمام حجم ماده به آزادی و بدون بستگی به یکدیگر حرکت می کنند. این حالت از ماده را حالت پلازما می نامند، و به عبارت ساده تر پلازما گاز یونیزه است. در حالت پلاسمایی - که در همه مواد، در دماهای بسیار زیاد ایجاد می شود - ماده از خود خواص غیر عادی ظاهری می کند.

حالت هسته ای - در فضا ستاره هایی شناخته شده اند که جرم حجمی آنها میلیونها برابر جرم حجمی اجسام زمینی است. مطالعات مربوط به ساختمان اتم این مواد با جرم حجمی بسیار زیاد، حالت پنجمی از ماده را شناسانده است، که آنرا حالت هسته ای یا حالت نوترونی می نامند. در این حالت الکترونهای همه اتمها در اثر فشارهای بسیار زیاد، در هسته اتمهای خود فرو رفته اند، به طوری که از پیوند الکترونها و پروتونها، نوترونهایی بوجود آمده اند که فاصله ای بین آنها وجود ندارد. جرم حجمی مواد در حالت هسته ای، برای اتمهایی که جرم اتمی آنها متوسط باشد تقریباً $10^{17} \times 29/2 \text{ kg/m}^3$ است و این مقدار بیست میلیون میلیون برابر جرم حجمی سرب است.

آثار گرما

هنگامی که جسمی گرما دریافت کند، تغییرات زیر ممکن است در آن ظاهر شود:

تغییر دما - وقتی جسمی گرما دریافت کند، دمای آن افزایش می یابد و موقعی که جسم گرما از دست بدهد، دمای آن کاهش می یابد؛ اما وقتی جسم تغییر حالت می دهد، دمای آن ثابت می ماند. باید توجه داشت، گرمایی که جسم می گیرد، سبب افزایش انرژی جنبشی ذرات آن می شود که به صورت بالا رفتن دما ظاهر می گردد.

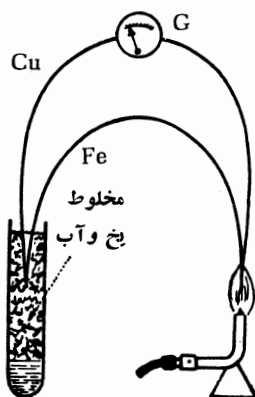
تغییر حالت - گرما می تواند جسم جامد مانند یخ را به مایع مانند آب و مایع را به گاز مانند بخار آب تبدیل کند و نیز می توان با گرما گرفتن از گاز آن را به مایع و با گرما گرفتن از مایع آن را به جامد تبدیل کرد.

انبساط و انقباض (تغییر طول، سطح و حجم) - حجم همه مواد اعم از جامد، مایع و گاز در اثر گرفتن یا پس دادن گرما، تغییر می کند. معمولاً همه مواد جز چند مورد استثنایی در اثر گرفتن گرما افزایش حجم می یابند.

تغییر خواص فیزیکی - گرما می تواند سبب تغییر وضع مولکولهای سازنده مواد شود و خصوصیات فیزیکی آنها را تغییر دهد. برای نمونه، گرما مقاومت و سختی و جرم حجمی فلزات را تغییر می دهد. مقاومت رساناها نیز با دما بستگی دارد و به کمک همین خاصیت می توان دماسنجهای مقاومتری را ساخت.

تغییر خواص شیمیایی- اگر رشته‌ای از منیزیم را حرارت دهیم، می‌سوزد و نور خیره‌کننده‌ای تولید می‌کند. چنانچه شکر را در یک لوله آزمایش گرم کنیم می‌سوزد و کربن در ته لوله می‌ماند و بخار آب خارج شده از آن را می‌توان در بالای لوله، با عمل سرد کردن به مایع تبدیل کرد. این دو آزمایش نمونه‌هایی از تغییر خواص شیمیایی جسم در اثر گرما را، نشان می‌دهند.

تغییر نور و رنگ- مواد در اثر گرفتن گرما و افزایش دما می‌توانند از خود امواجی تابش کنند. این امواج ممکن است روی چشم اثر کنند و سبب دیدن آن مواد شوند. در این صورت رنگ ماده مربوط به موجی است که آن ماده از خود تابش کرده است. بعضی از مواد نسبت به دماهای معمولی نیز حساس هستند که از آنها در دماسنجهای پزشکی نواری استفاده می‌شود.



شکل ۳

تبدیل گرما به انواع دیگر انرژی- انرژی گرمایی را می‌توان به انواع دیگر انرژی تبدیل کرد. در پیل ترموالکتریک، گرما به الکتریسیته تبدیل می‌شود. (شکل ۳) پیل ترموالکتریک از دو رسانای ناهمجنس که به یکدیگر لحیم شده‌اند تشکیل شده است. اگر اختلاف دمایی در دو نقطه لحیم شده به وجود آید، جریان الکتریکی در مدار برقرار می‌شود. شدت این جریان را می‌توان با گالوانومتر اندازه گرفت؛ و از روی آن اختلاف دمای دو نقطه

گرم و سرد را مشخص کرد (دماسنج مقاومتی). این نوع دماسنجها را می‌توان تا دمای 258°C - به کار برد. علاوه بر این، انرژی گرمایی به انرژی مکانیکی در ماشین بخار، انرژی شیمیایی در واکنشهای گرماگیر و انرژی تابشی در پدیده التهاب تبدیل می‌شود.

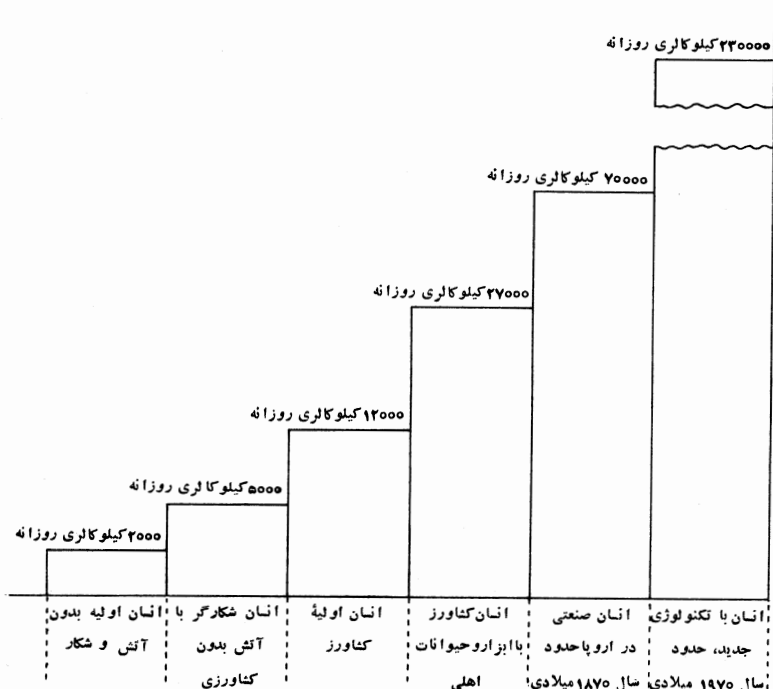
منابع انرژی گرمایی

منبع بزرگ انرژی گرمایی زمین خورشید است. این انرژی به صورت پرتوهایی از خورشید به زمین می‌رسد، به طوری که هر سانتیمتر مربع از سطح زمین در هر دقیقه حدود دو کالری انرژی از خورشید دریافت می‌کند. انرژی که از این راه زمین در هر ساعت از خورشید دریافت می‌کند برابر انرژی حاصل از چند سال مصرف منابع طبیعی زمین است.

پرتوهایی که خورشید گسیل می‌دارد، دارای انرژی حرارتی و شیمیایی هستند. انرژی حرارتی این پرتوها آب، خاک و هوای اطراف زمین را گرم می‌کند و انرژی شیمیایی

آنها سبب رشد و نمو گیاهان و جانوران می‌شود. باقیمانده همین جانوران و گیاهان هستند که سوختهایی مانند زغال چوب، زغال سنگ، نفت و گاز طبیعی را فراهم می‌کنند. بخشی از انرژی گرمایی پرتوهای خورشید مستقیماً آب دریاها و اقیانوسها را بخار می‌کند و همین بخار آب است که به شکل برف و باران ریزش می‌کند و آب رودخانه‌ها را تأمین می‌نماید. از آبشارهای طبیعی یا مصنوعی این رودخانه‌ها، ماشینهای آبی و توربینهای مولد الکتریسیته را به کار می‌اندازند که از انرژی الکتریکی آنها استفاده می‌شود. به طور کلی منابع طبیعی انرژی که امروزه در دسترس انسان قرار دارند عبارتند از: زغال سنگ، نفت، گاز طبیعی، انرژی حرارتی زمین، انرژی آبهای روان، انرژی باد و انرژی خورشیدی.

علاوه بر این منابع انرژی، انسان توانسته است انرژی اتمی را نیز به کار گیرد. این انرژی که در ستارگان به طور طبیعی آزاد می‌شود روی زمین به دست انسان تولید و کنترل شده است. لازم به تذکر است که میزان مصرف انرژی سرانه انسان در طول تاریخ افزایش یافته است و نمودار زیر معرف این موضوع می‌باشد.



نمودار مصرف انرژی سرانه انسان

دما و دماسنجی

هدفهای رفتاری

انتظار می‌رود خواننده با مطالعه این بخش بتواند:

- ۱- اصطلاحات دما، دماسنج، تعادل دمایی و نقاط ثابت دماسنجی را تعریف کند.
- ۲- اساس کار دماسنجها را توضیح دهد و مدرج کردن دماسنج را براساس انتخاب سلسیوس و فارینهایت و کلوین بیان کند.
- ۳- انواع دماسنجها را نام برد و طرز کار هریک را به اختصار بیان کند.
- ۴- جواب پرسشهای آخربخش را درست انتخاب کند.

دما چیست؟

يك دست خود را روی يك قطعه یخ می‌گذاریم و با دست دیگر، استکان پرازچای تازه‌ای را لمس می‌کنیم. دراین صورت دو احساس متفاوت درما ایجاد می‌شود. این دو احساس که آنها را با کلمه‌های سرد و گرم بیان می‌کنیم، معرف تفاوتی در دوپدیده واقعی هستند که دستهای ما آنها را حس و با هم مقایسه کرده است. (به‌طور کلی آنچه را که معرف گرمی یا سردی يك ماده است، دما می‌نامیم) هراندازه ماده‌ای گرم‌تر باشد دمای آن بیشتر و هراندازه سردتر باشد دمای آن کمتر است.

دماسنج^۱ و اساس آن

آسانترین وسیله تشخیص میزان گرمی و سردی مواد، حس لامسه به‌ویژه استفاده از دست‌هاست؛ ولی معمولاً به‌جای دست‌ها، از ابزارهایی استفاده می‌کنیم که محدودیت حس لامسه را ندارند، دچار خطا نمی‌شوند، دقیق هستند و می‌توانند میزان گرمی و سردی را با عدد و رقم مشخص کنند. چنین ابزارهایی دماسنج نامیده می‌شوند.

«اساس کار هر دماسنج بر پایه اندازه‌گیری یکی از تغییرات فیزیکی است که متناسب با تغییر دما در آن دماسنج ظاهر می‌شود.» این تغییر فیزیکی می‌تواند انبساط و انقباض، تغییر فشار در گازها، تغییر مقاومت الکتریکی، تغییر رنگ اجسام و... باشد. چون این تغییرات طبق قوانین مشخصی صورت می‌گیرد می‌توان با اندازه‌گیری آنها دمای یک جسم را مشخص کرد. لازم به‌تذکر است که وقتی دماسنج را در مجاورت یک ماده قرار دهیم، پس از مدتی دماسنج و آن ماده، به تعادل دمایی می‌رسند (همدمای می‌شوند) که دماسنج این دما را نشان می‌دهد.^۲

مدرج کردن دماسنج

برای مدرج کردن دماسنج لازم است مشخصه‌ای از ماده که تغییرات آن متناسب با دماست، مشخص شود. برای نمونه در دماسنج‌های

جیوه‌ای این مشخصه طول ستون جیوه در دماسنج است. رابطه بین افزایش دما و افزایش طول یک رابطه خطی است که معادله و نمودار آن چنین است:

$$\theta = ax + b$$

برای آنکه بتوانیم با اندازه‌گیری x (طول ستون جیوه) مقدار θ یعنی دمای جسم را مشخص کنیم لازم است ضرایب a و b را

شکل ۴

بدانیم. برای مشخص کردن این دو ضریب انتخاب دو حالت موسوم به نقاط ثابت دماسنجی

۱- Thermometer

۲- اصل صفر ترمودینامیک؛ وقتی دودستگاه مدتی باهم در تماس باشند بین آنها تعادل حرارتی ایجاد می‌شود. دودستگاه که با دستگاه سوم در حال تعادل حرارتی باشند باهم در حال تعادل حرارتی هستند.

ضروری است. ساده‌ترین نقاط ثابت دماسنجی عبارتند از:

الف - درجه حرارت تعادل آب و یخ خالص در فشار يك جو

ب - درجه حرارت بخار آب جوش در فشار يك جو

درجه‌بندی صد قسمتی - سلسیوس^۱، دمای آب و یخ را صفر و دمای بخار آب جوش را صد انتخاب و قرارداد کرد. دماسنجی که بر این مبنا درجه‌بندی شود، دماسنج صد قسمتی نامیده می‌شود. ضرایب a و b در این نوع درجه‌بندی عبارتند از:

$$\theta = ax + b \Rightarrow \begin{cases} 0 = ax_0 + b \\ 100 = ax_{100} + b \end{cases}$$

$$\Rightarrow a = \frac{100}{x_{100} - x_0} \quad \text{و} \quad b = -\frac{100x_0}{x_{100} - x_0}$$

با قراردادن a و b در رابطه $\theta = ax + b$ خواهیم داشت:

$$\theta = 100 \frac{x - x_0}{x_{100} - x_0} \quad \text{و} \quad x = x_0(1 + A\theta)$$

که $A = \frac{x_{100} - x_0}{100x_0}$ را ضریب دماسنجی گویند.

درجه‌بندی فارینهایت^۲ - در این نوع درجه‌بندی، نقطه ثابت پایینی دماسنجی عبارت است از دمای مخلوط یخ و نشادر و نقطه بالایی آن نقطه جوش آب است در این مقیاس نقطه تعادل آب و یخ ۳۲ درجه و نقطه جوش آب خالص ۲۱۲ درجه است^۳. رابطه بین

۱ - اخترشناس سوئدی (۱۷۰۱-۱۷۴۴) Anders Celsius

۲ - دانشمند آلمانی Gabriel Fahrenheit

۳ - علت انتخاب ۳۲ و ۲۱۲ توسط فارینهایت آن بود که او پایین‌ترین دمایی که توانست ایجاد کند، دمای مخلوط یخ و نشادر بود (صفر فارینهایت). او مقداری جیوه را در ظرفی ریخت و حجم آن را در این نقطه با V_0 نشان داد و شروع به حرارت دادن آن کرد. اندازه‌گیری فارینهایت نشان داد که وقتی جیوه به دمای ذوب یخ رسید، افزایش حجمی برابر $V_0 \times 32 \times 10^{-4}$ و وقتی به دمای بدن انسان رسید، افزایش حجمی برابر $V_0 \times 96 \times 10^{-4}$ پیدا کرد. از این رو تغییر دمایی که سبب تغییر حجم $V_0 \times 10^{-4}$ گردید را، يك درجه نامید و به این ترتیب در این مقیاس، صفر سانتیگراد برابر ۳۲ شد. همچنین فارینهایت دریافت در دمای جوش آب افزایش حجم جیوه برابر $V_0 \times 10^{-4} \times 212$ است که از روی آن دمای جوش آب را ۲۱۲ درجه مشخص کرد.

درجات فارینهایت و درجات سانتیگراد^۱ به این صورت است:

$$F = 1/8C + 32$$

ضریب $1/8$ برای آن است که 100 درجه سانتیگراد برابر $180 - 32 = 148$ درجه فارینهایت است، بنابراین هر درجه سانتیگراد معادل $1/8$ درجه فارینهایت می شود. به طور کلی $\Delta F = 1/8 \Delta C$ و عدد 32 مربوط به آن است که صفر سانتیگراد، 32 درجه بالاتر از صفر فارینهایت است.

مثال ۱- درجه دمای عددی که دماسنج سانتیگراد نشان می دهد نصف دمای فارینهایت است؟

حل: رابطه بین این دو درجه بندی به صورت زیر است:

$$\theta_c = ?$$

$$\theta_c = \frac{1}{2} \theta_F$$

$$\theta_F = 2\theta_c$$

$$\theta_F = 1/8 \theta_c + 32$$

پس داریم:

$$2\theta_c = 1/8 \theta_c + 32 \Rightarrow \theta_c = 160^\circ C$$

مثال ۲- طول ستون جیوه در یک دماسنج جیوه ای در صفر درجه سانتیگراد برابر 10 سانتیمتر و در 100 درجه سانتیگراد برابر 18 سانتیمتر است. درجه دمای سانتیگراد طول ستون جیوه 12 سانتیمتر است. این دما چند درجه فارینهایت است؟

$$x_0 = 10 \text{ cm}$$

$$x_{100} = 18 \text{ cm}$$

$$\theta = ?$$

$$x = 12 \text{ cm}$$

$$\theta_F = ?$$

حل: با استفاده از رابطه $\theta = ax + b$ می نویسیم:

۱- تعریف درجه حرارت سانتیگراد - یک درجه در مقیاس صد قسمتی عبارت از اختلاف حالت حرارتی است که حجم جیوه را به اندازه $\frac{1}{100}$ اختلاف حجم جیوه ضمن رسیدن از درجه حرارت آب یخ به درجه حرارت آب جوش، تغییر دهد.

$$\theta = 100 \frac{X - X_0}{X_{100} - X_0} \Rightarrow \theta = 100 \frac{12 - 10}{18 - 10} = 25^\circ\text{C}$$

رابطه دمای فارینهایت و سانتیگراد را می نویسیم:

$$F = 1/8C + 32 = (1/8 \times 25) + 32 = 77^\circ\text{F}$$

درجه بندی مطلق - مبنای این درجه بندی به جای دو نقطه ذوب یخ و جوش آب، صفر مطلق و نقطه سه گانه آب است. (نقطه ای که در آن یخ و آب و بخار آب به حالت تعادل هستند) صفر مطلق پایین ترین دمای ممکن است. در این دما مولکولها کاملاً بی حرکت هستند و انرژی جنبشی مولکولها برابر صفر است. این نقطه، $273/15$ درجه پایینتر از صفر سانتیگراد است، از این رو رابطه بین درجات دمای مطلق و دمای سانتیگراد به این صورت است:

$$T = \theta + 273/15$$

در این رابطه T دمای مطلق یا درجه حرارت کلوین (T_K) و θ دمای سلسیوس است. رابطه دمای مطلق با دمای فارینهایت به صورت زیر است:

$$T = 255/38 + \frac{5}{9}F$$

درجه بندی رئومور - نقاط ثابت دماسنجی در این نوع درجه بندی همان نقاط ثابت دماسنجی درجه بندی سلسیوس، یعنی نقطه ذوب یخ و نقطه جوش آب است، با این تفاوت که رئومور نقطه ذوب یخ را صفر و نقطه جوش آب را 80 درجه نامید. رابطه بین درجات رئومور و سانتیگراد به این صورت است:

$$R = \frac{80}{100}C \text{ یا } R = 0/8C$$

درجه بندی رانکین - دو نقطه ثابت این نوع درجه بندی همان نقاط ثابت درجه بندی مطلق (درجه بندی کلوین) است با این تفاوت که فاصله درجات به جای آنکه با فاصله درجات سانتیگراد برابر باشد، با فاصله درجات درجه بندی فارینهایت برابر است. به این ترتیب چون صفر این دونوع درجه بندی برهم منطبق است، نقطه ذوب یخ به جای 273 ، برابر $R_a = 1/8C = 1/8 \times 273 = 492$ درجه خواهد بود.

جدول زیر دمای چند نقطه مشخص را نسبت به دماسنجهای مختلف نشان می دهد.

نقطه مشخص	سانتیگراد	فارنهایت	رئورمور	کلوین	رانکین
جوش آب	۱۰۰	۲۱۲	۸۰	۳۷۳	۶۷۲
بدن انسان	۳۷	۹۸/۶	۲۹/۶	۳۱۰	۵۵۸/۶
انجماد آب	۰	۳۲	۰	۲۷۳	۴۹۲
صفر مطلق	-۲۷۳	-۴۶۰	-۲۱۸/۴	۰	۰

انواع دماسنج

براساس هریک از تغییراتی که بر ماده در اثر گرما و افزایش دما ایجاد می شود، می توان دماسنج ساخت. دماسنجهایی که براساس اثرهای گرما بر ماده ساخته شده اند و اکنون در محدوده های مشخصی مورد استفاده هستند، عبارتند از:

دماسنج انبساطی- رایج ترین نوع دماسنج است که براساس انبساط و انقباض هر ماده

در اثر تغییر دما ساخته شده است. دماسنجهای جیوه ای و الکلی از این نمونه اند.

دماسنج گازی- ماده دماسنجی این دماسنجهای، یکی از گازهایی است که نقطه میعان

آن پایین است، مانند نئیدروژن و هلیوم و کمیت متغیر وابسته به دما، فشار گاز در حجم ثابت است.

دماسنج مقاومتی- مقاومت الکتریکی رساناهای فلزی با دما نسبت مستقیم دارد،

از این رو با اندازه گیری مقاومت رسانا می توان دمای محیط را مشخص کرد. دماسنج مقاومتی با پلاتین یکی از دقیق ترین نمونه های این دماسنجهاست که دماهای بین 267°C تا 660°C را نشان می دهد.

کوپل ترموالکتریک- اگر دو انتهای دو سیم ناهمجنس را به یکدیگر لحیم کنیم و

دو انتهای دیگر را به دو طرف یک میلی ولت سنج متصل کنیم، ملاحظه می شود که وقتی محل اتصال دو فلز را حرارت دهیم، به طوری که اختلاف دمایی بین دو انتهای هریک از سیمها ایجاد شود، در مدار، نیروی محرکه الکتریکی ایجاد می شود که با اختلاف دمای

۱- رابطه مقاومت رسانا در دمای θ با مقاومت آن در دمای صفر به صورت $R_{\theta} = R_0 + R_0 a \theta$ است که یک رابطه خطی می باشد. در این رابطه a ضریب گرمایی مقاومت نامیده می شود.

$$\left(a = \frac{1}{250}\right)$$

دو سرسیمها متناسب است. حدود اندازه گیری ترموکوپلها متفاوت است و محدوده اندازه گیری بعضی از آنها عبارت است از:

.. کوپل ترموالکتریک قانونی بین ۶۳۰ تا ۱۱۰۰ درجه سانتیگراد با پلاتین و آلیاژ ۹۰ درصد پلاتین و رودیم.

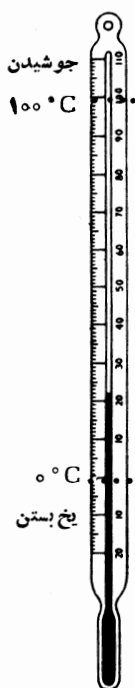
- کوپل مس - کنستانتان ۲۲۰ - تا ۳۵۰ درجه سانتیگراد.
- کوپل آهن - کنستانتان تا ۷۰۰ درجه سانتیگراد.
- کوپل نیکل کروم و نیکل آلومینیم تا ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد.
- کوپل تنگستن و آلیاژ تنگستن و ۲۵ درصد مولیبدن تا ۳۰۰۰ درجه سانتیگراد.

آذرسنج- کار این دماسنج براساس انرژی تابشی^۱ است که در اثر بالا رفتن دما از یک ماده تابش می شود. علاوه بر میزان انرژی، طول موجهای تابشی نیز با دما بستگی دارند، به طوری که می توان از روی طول موجی که ماکزیمم^۲ انرژی تابشی مربوط به آن است دمای محیط را مشخص کرد.

دماسنج جیوه ای- این دماسنج از مخزن کوچک شیشه ای که منتهی به لوله باریک و بلند مسدودی است ساخته شده است. برای آنکه هوا از درون لوله تخلیه شود، پس از پر کردن مخزن دماسنج از جیوه آن را حرارت می دهند تا جیوه در اثر انبساط همه فضای لوله را پر کند. آنگاه لوله را مسدود می کنند. سپس جیوه سرد می شود و پایین می رود و لوله را مدرج می کنند. هنگامی که دماسنج در محیط گرم یا سرد قرار گیرد، بنابراین تعادل دمایی، با محیط همدمای می شود و جیوه درون آن منبسط یا منقبض می گردد و سطح آن در مقابل عددی قرار می گیرد که معرف دمای محیط است. (شکل ۵)

مزایای دماسنج جیوه ای- فاریتهایت اولین کسی بود که جیوه را به عنوان ماده دماسنجی در دماسنجهای به کاربرد. دلایل انتخاب جیوه عبارتند از:

- الف- جیوه به شیشه نمی چسبد و در نتیجه مقاومتی در مقابل بالا و پایین رفتن آن ظاهر نمی شود.
- ب - به سهولت می توان جیوه خالص تهیه کرد.



شکل ۵

- ج - به دلیل آنکه بین نقطه انجماد جیوه (-39°C) و نقطه جوش آن (357°C) فاصله نسبتاً زیادی موجود است، دامنه کاربرد این نوع دماسنج زیاد است.
- د - جیوه فلزی است با ظرفیت گرمایی کم و رسانایی زیاد، بنابراین به سرعت به دمای محیط می‌رسد ($c = 140 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$).
- ه - جیوه ماده‌ای است کدر و سطح آن در شیشه به خوبی دیده می‌شود.
- و - ضریب انبساط جیوه تقریباً یکنواخت و نسبتاً زیاد است ($\alpha = 0.18 \times 10^{-2}$).
- ز - به سبب کوچک بودن ظرفیت گرمایی ویژه، میزان گرمایی که به محیط تماس خود می‌دهد یا می‌گیرد ناچیز است و در نتیجه تغییری در دمای محیط نمی‌دهد و دما را آنچه هست مشخص می‌کند.

ح - با وارد کردن کمی نیتروژن در لوله و ایجاد فشار بر سطح جیوه، نقطه جوش آن را می‌توان تا 500 و حتی 600 درجه سانتیگراد بالا برد و دامنه کاربرد آن را افزایش داد.

دماسنج پزشکی - دماسنجی که پزشکان برای اندازه‌گیری دمای بدن انسان به کار می‌برند، دماسنج پزشکی نامیده می‌شود، این دماسنج که از نوع جیوه‌ای است، بین 35 تا 42 درجه سانتیگراد (94°F تا 110°F) مدرج شده است. بالای مخزن جیوه آن خمیدگی باریکی موجود است تا آنکه جیوه پس از انقباض به مخزن جیوه بازنگردد. نوع جدیدی از دماسنج‌های پزشکی، دماسنج نواری است که اساس کار آن بر تابش مرئی اجسام در دماهای بین 37 تا 42 درجه است.

به این پرسشها پاسخ دهید:

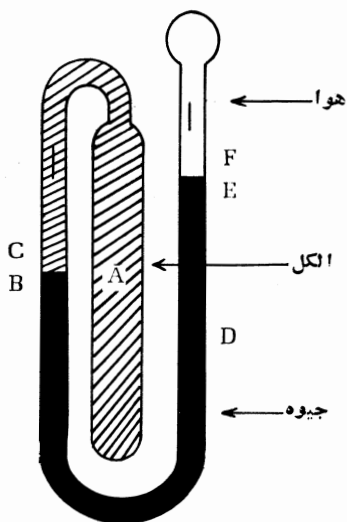
۱ - از بین اصطلاحات و اعداد زیر پاسخهای مناسب را انتخاب و با آنها جملات زیر را تکمیل کنید. گرماسنج، گرما، دما، دماسنج، فشارسنج، یک، $32, 100, 212, 273$. ابزاری که با آن می‌توان میزان گرمی و سردی اشیا را مشخص کرد نامیده می‌شود و عددی که این ابزار نشان می‌دهد معرف ی آن ماده است. در مقیاس کلوین در فشار اتمسفر ی ذوب یخ درجه و دمای نقطه‌ای که مولکولها حرکت نکنند برابر است.

۲ - در ستون شماره یک چند حالت مشخص و در ستون شماره دو چند درجه حرارت نوشته شده است. دمای هر حالت را از ستون شماره دو انتخاب کرده در مقابل حالت مشخص بنویسید.

۳ - آب ماده دماسنجی خوبی نیست زیرا:

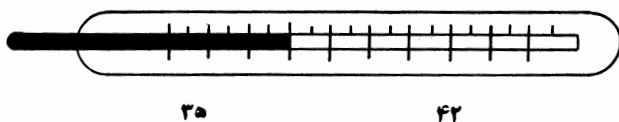
ستون ۲		دمای حالت	ستون ۱	
96°F	۱	۰۰۰	دمای بدن انسان سالم	۱
373°K	۲	۰۰۰	دمای مخلوط یخ و نمک	۲
$15-20^{\circ}\text{C}$	۳	۰۰۰	هوای معتدل	۳
-38°F	۴	۰۰۰	مولکولها بی حرکت هستند	۴
0°F	۵	۰۰۰	آب می جوشد	۵
0°K	۶	۰۰۰	جیوه منجمد می شود	۶

- الف - نقطه جوش آن بسیار پایین است.
- ب - نقطه انجماد آن بسیار بالاست.
- ج - تغییرات انبساط و انقباض آن تابع اصل عمومی انبساط و انقباض مواد نیست.
- د - شیشه را ترمی کند.
- ه - بی رنگ و خواندن دمای آن مشکل است.
- درباره هریک از موارد بالا توضیح دهید.
- ۴ - شکل مقابل یک دماسنج ماکزیمم و مینیمم را نشان می دهد.
- الف - در قسمت A چه مایعی قرار دارد؟
- ب - در قسمت D چه مایعی قرار دارد؟
- ج - وقتی هوا گرم شود، میله BC بالا می رود یا EF؟
- د - کدام یک از دو میله آهنی کمترین دما را نشان می دهد؟
- ه - چه گازی در قسمت E قرار دارد؟
- ۵ - شکل صفحه بعد یک دماسنج پزشکی را نشان می دهد.
- الف - ماده دماسنجی آن چیست؟
- ب - چه دمایی را در وضع موجود نشان می دهد؟



دماسنج ماکزیمم و مینیمم

شکل ۶



شکل ۷

- ج - چرا نمی‌توان آن را در آب جوش قرار داد؟
- د - اگر آن را در آب و یخ قرار دهیم آیا می‌شکند؟
- ه - چرا بین میخزن و لوله موئین خمیدگی وجود دارد؟

اندازه گیری مقدار گرما

هدفهای رفتاری

انتظار می رود خواننده با مطالعه این بخش بتواند:

- ۱- اصطلاحات کالری، کیلوکالری، ترمی، بی تی یو، ظرفیت گرمایی، ظرفیت گرمایی ویژه و دمای تعادل را تعریف کند.
- ۲- اصول تعادل گرمایی را توضیح دهد.
- ۳- ساختمان گرماسنج را بشناسد.
- ۴- مقدار گرمایی را که يك ماده در اثر تغییر دما می گیرد یا از دست می دهد، محاسبه کند.
- ۵- مسئله های آخر بخش را به درستی تجزیه و تحلیل کند.

مقدار گرما

برای تعیین دما از انواع دماسنجها می توان استفاده کرد، ولی اندازه گیری مقدار گرمایی که ماده، می گیرد یا از دست می دهد به این سادگی نیست؛ زیرا ابزاری مانند دماسنج وجود ندارد که به کمک آن، مقدار گرمایی را که مقدار معینی از ماده می گیرد یا از دست می دهد، بتوان مشخص کرد. به طور کلی، مقدار گرمای مبادله شده از روی آثاری که بر روی يك ماده ظاهر می سازد، اندازه گیری می شود و این کار همیشه آسان نیست. برای مثال مقدار گرمایی که از سوختن مقدار معینی بنزین تولید می شود، از روی افزایش دمایی که این گرما بر روی آب ایجاد می کند، مشخص می شود.

واحدهای گرما

از گذشته، معمولاً آب را به عنوان ماده مشخص کننده واحد گرما به کار می برده اند. واحدهایی مانند کالری، کیلو کالری، ترمی و بی تی یو را با استفاده از جرم معینی آب و تغییر دمای آن به صورت زیر تعریف کرده اند:

کالری - مقدار گرمایی است که دمای یک گرم آب را یک درجه سانتیگراد افزایش دهد. به عبارت دقیق تر کالری یک صدم مقدار گرمایی است که یک گرم آب صفر درجه را به صد درجه سانتیگراد می رساند و این مقدار درست برابر گرمایی است که یک گرم آب $14/5^{\circ}\text{C}$ را به $15/5^{\circ}\text{C}$ می رساند.

کیلو کالری - مقدار گرمایی است که یک کیلو گرم آب خالص دریافت می کند و یا از دست می دهد تا یک درجه سانتیگراد گرمتر یا سردتر شود.

ترمی - مقدار گرمایی است که یک تن آب می گیرد یا از دست می دهد تا یک درجه سانتیگراد گرمتر یا سردتر شود.

بی تی یو - مقدار گرمایی است که یک پوند (۴۵۳ گرم) آب می گیرد تا دمای آن از 63°F به 64°F برسد.

ژول - در دستگاه SI، واحد مقدار گرما همان واحد انرژی یعنی ژول است. هر کالری معادل $4/18605$ ژول است

ظرفیت گرمایی

اگر ماده ای به جرم m گرم، گرمایی برابر Q دریافت کند، تغییر دمایی برابر $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$ در آن ایجاد می شود. بنابر تعریف نسبت $A = \frac{Q}{\Delta\theta}$ ، ظرفیت گرمایی آن ماده نامیده می شود. به عبارت دیگر ظرفیت گرمایی مقدار معینی ماده، برابر است با گرمای لازم، برای آنکه دمای آن ماده را یک درجه سانتیگراد افزایش دهد بدون آنکه تغییر شیمیایی یا تغییر حالت فیزیکی در آن ماده ایجاد شود.

ظرفیت گرمایی ویژه

ظرفیت گرمایی ویژه یک ماده که از مشخصات آن ماده و معرف حالت و ترکیب و ساختمان آن ماده می باشد، عبارت است از ظرفیت گرمایی واحد جرم آن ماده و به عبارت دیگر مقدار گرمایی که واحد جرم (یک کیلو گرم در دستگاه SI) آن ماده می گیرد، تا یک درجه گرمتر

شود. ظرفیت گرمایی ویژه هر ماده را با C نشان می‌دهند و می‌توان آن را از رابطه زیر به دست آورد:

$$C = \frac{A}{m} = \frac{\frac{Q}{\Delta\theta}}{m} = \frac{Q}{m \cdot \Delta\theta}$$

واحد ظرفیت گرمایی ویژه در دستگاه SI عبارت است از: $\frac{J}{kg \cdot ^\circ C}$. اگر رابطه بالا را

بر حسب Q بنویسیم، خواهیم داشت:

$$Q = mC\Delta\theta = mC(\theta_2 - \theta_1)$$

در این رابطه Q مقدار گرمای مبادله شده، m جرم ماده و $\Delta\theta$ تغییر دمای آن است. باید توجه داشت که همه گرمایی که ماده‌ای دریافت می‌کند، صرف افزایش دمای آن نمی‌شود، بلکه قسمتی از این انرژی، صرف کار، برای غلبه بر نیروهای جاذبه مولکولی آن ماده می‌شود و در این عمل ممکن است ماده تغییر حجم یا تغییر حالت دهد. البته در جامدات و مایعات اگر تغییر حجم زیاد نباشد این انرژی مصرف شده ناچیز خواهد بود. در گازها به دلیل آنکه تغییر حجم زیاد است، ظرفیت گرمایی ویژه، در حجم ثابت و در فشار ثابت تعریف می‌شود و مشخص است که وقتی فشار ثابت باشد تغییر حجم گاز متضمن صرف مقداری کار خواهد بود و در نتیجه گرمای ویژه در فشار ثابت، بیشتر از گرمای ویژه در حجم ثابت است.

قانون دولن و پتی - ظرفیت گرمایی ویژه فلزات با جرم اتمی آنها بستگی دارد، به طوری که حاصل ضرب جرم اتمی هر فلز در ظرفیت گرمایی ویژه آن همیشه مقدار ثابتی است. یعنی

$$A \cdot C = 6/4 \frac{\text{cal}}{\text{mol} \cdot ^\circ C}$$

در این رابطه A جرم اتمی فلز و C ظرفیت گرمایی ویژه آن است.

مثال ۱- جرم اتمی آلومینیم ۲۷ گرم است. ظرفیت گرمایی ویژه آن چقدر است؟

حل: طبق قانون دولن و پتی $A \cdot C = 6/4 \Rightarrow C = \frac{6/4}{27} = 0/22 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ C}$

اصول تعادل گرمایی

هرگاه دو یا چند ماده را با دماهای مختلف کنار هم قرار دهیم، پس از مدتی مشاهده

می‌شود که دمای همه آنها با هم برابر شده است و به عبارت دیگر به دمای تعادل رسیده‌اند. برای رسیدن به دمای تعادل آنها که گرمتر از این دما بوده‌اند نوعی انرژی به نام گرما از دست داده و آنها که سردتر بوده‌اند گرما دریافت کرده‌اند. به طور کلی در مبادله گرما در چند ماده مجاور هم که با محیط مجاور تبادل گرما نکنند، اصول زیر برقرار است:

- ۱- موادی که گرمترند گرما می‌دهند و آنها که سردترند گرما می‌گیرند.
- ۲- مقدار گرمایی که مواد گرم می‌دهند برابر مقدار گرمایی است که مواد سرد دریافت می‌کنند.

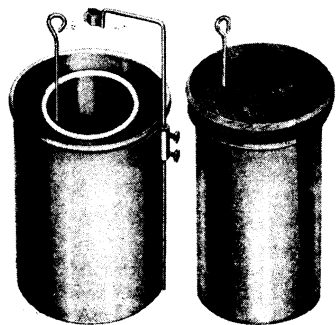
۳- دمای نهایی که آن را دمای تعادل می‌نامند، برای همه اجسام مجاور هم یکسان خواهد شد اگر مواد برهم اثر شیمیایی نداشته باشند و تغییر حالت ندهند، دمای تعادل از

رابطه زیر به دست می‌آید $\theta' = \frac{\sum mC\theta}{\sum mC}$ که در این رابطه θ' دمای تعادل و m و

- C و θ ، جرم و ظرفیت گرمایی ویژه و دمای هریک از مواد درون مخلوط است.
- ۴- برای آنکه ماده‌ای از دمای θ_1 به θ_2 ($\theta_2 > \theta_1$) برسد، مقداری گرمادریافت می‌کند که برابر است با مقدار گرمایی که از دست می‌دهد، هنگامی که از دمای θ_1 به θ_2 برمی‌گردد.

گرماسنج

گرماسنج (کالریمتر) ظرفی است که جدار آن مانع عبور گرما از خارج به داخل و از داخل به خارج آن است و برای ثابت باقی ماندن دمای یک یا چند ماده و نیز تعیین ظرفیت گرمایی یا ظرفیت گرمایی ویژه یک جسم به کار می‌رود. قبلاً گرماسنج را از ظرف برنجی به حجم ۲۵۰ تا ۱۰۰۰ سانتیمتر مکعب می‌ساختند. این ظرف روی چوب پنبه‌هایی که داخل ظرف بزرگتری است قرار می‌گیرد تا از انتقال گرما در اثر هدایت جلوگیری شود. سطح خارجی ظرف بیرونی و سطح درونی ظرف داخلی را صیقلی می‌کنند تا از انتقال گرما در اثر تابش نیز جلوگیری شود. سرپوش عایقی نیز که دارای دو سوراخ است روی ظرف قرار می‌گیرد. از این دو



شکل ۸

سوراخ سرپوش، یک دماسنج حساس و یک میله به نام همزن می‌گذرد (شکل ۸). اکنون

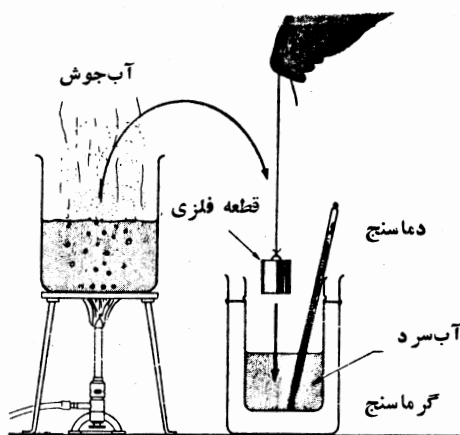
به جای گرماسنجهای برنجی از ظرفهای دو جداره استفاده می شود سطوح داخلی و خارجی این جدارها صیقلی و فضای بین دو جدار خالی از هواست. این گرماسنجهای دقیق و حساسند و تبادل گرمایی فقط بین موادی که داخل آنها قرار دارد صورت می گیرد.

ظرفیت حرارتی گرماسنج - مجموع حاصل ضرب جرم هر جزء در ظرفیت گرمایی ویژه آن جزء را ظرفیت حرارتی گرماسنج نامند و رابطه آن به صورت زیر است:

$$A = m_1 C_1 + m_2 C_2 + m_3 C_3 + \dots = \Sigma mC$$

اگر آب درون گرماسنج نیز به اجزای فوق اضافه شود ظرفیت حرارتی کل گرماسنج به دست می آید.

مثال ۲- برای تعیین ظرفیت گرمایی ویژه یک آلیاژ برنج، در یک آزمایشگاه، قطعه ای از برنج را انتخاب و آن را گرم کرده و در گرماسنج قرار داده اند و متادیر زیر را به دست آورده اند:



$$m_1 = 160 / \text{g}$$

جرم گرماسنج

$$C_1 = 0.0930 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}$$

ظرفیت گرمایی ویژه گرماسنج

$$M = 225 / \text{g}$$

جرم آب

$$C = 1 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}$$

ظرفیت گرمایی ویژه آب

$$m_2 = 184 / \text{g}$$

جرم برنج

$$\theta = 18 / 0^\circ\text{C}$$

دمای اولیه آب و گرماسنج

وسیله برای اندازه گیری ظرفیت گرمایی ویژه یک قطعه فلز با روش مخلوط

شکل ۹

$$\theta_1 = 99 / 5^\circ\text{C}$$

دمای اولیه برنج

$$\theta_2 = 23 / 5^\circ\text{C} \quad (\text{دمای تعادل})$$

$$C_2 = ?$$

ظرفیت گرمایی ویژه برنج مجهول است

حل: برای تعیین ظرفیت گرمایی ویژه برنج، ابتدا لازم است مواد و اجسامی را که گرما گرفته یا داده اند مشخص کنیم. در این آزمایش آب و گرماسنج، گرما گرفته

و برنج گرما داده است. از طرف دیگر طبق اصول تعادل حرارتی مقدار گرمایی که برنج از دست می‌دهد (Q_2) برابر مقدار گرمایی است که آب (Q) و گرماسنج (Q_1) می‌گیرند تا به دمای تعادل برسند یعنی $Q_2 = Q_1 + Q$. از طرف دیگر داریم:

$$Q = MC(\theta_2 - \theta) \text{ و } Q_1 = m_1 C_1 (\theta_2 - \theta)$$

$$Q_2 = m_2 C_2 (\theta_1 - \theta_2)$$

$$MC(\theta_2 - \theta) + m_1 C_1 (\theta_2 - \theta) = m_2 C_2 (\theta_1 - \theta_2) \quad \text{پس:}$$

$$\Rightarrow (MC + m_1 C_1)(\theta_2 - \theta) = m_2 C_2 (\theta_1 - \theta_2)$$

$$\Rightarrow C_2 = \frac{(MC + m_1 C_1)(\theta_2 - \theta)}{m_2 (\theta_1 - \theta_2)}$$

با قراردادن هریک از اندازه‌ها در رابطه خواهیم داشت:

$$C_2 = \frac{(225 \times 1 + 160 \times 0.093)(23/5 - 18)}{184/7(99/5 - 23/5)} = 0.0936 \frac{\text{cal}}{\text{g } ^\circ\text{C}}$$

مثال ۳- در یک آزمایش ۱۰۰/۰ گرم آهن به دمای ۸۰ درجه سانتیگراد را به داخل ۵۳/۵

گرم آب ۲۰/۰ درجه سانتیگراد وارد می‌کنیم، دمای تعادل چه اندازه خواهد شد؟

در صورتی که ظرفیت گرمایی ویژه آب $C = 1 \text{ cal/g } ^\circ\text{C} = 4200 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$

و ظرفیت گرمایی ویژه آهن $C' = 0.107 \text{ cal/g } ^\circ\text{C} = 460 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$ باشد.

حل : می‌دانیم که در این آزمایش آب مقداری گرما می‌گیرد (Q_1)

$$m = 100 \text{ g}$$

$$\theta_1 = 80^\circ\text{C}$$

و آهن مقداری گرما می‌دهد (Q_2) و این دو مقدار گرما با هم

$$M = 53/5 \text{ g}$$

$$\theta = 20^\circ\text{C}$$

برابرند، پس داریم: $Q_1 = Q_2$

$$C = 1 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$$

$$MC(\theta_2 - \theta) = mC'(\theta_1 - \theta_2)$$

$$\theta_2 = ?$$

$$\theta_2 = \frac{mC'\theta_1 + MC\theta}{mC' + MC} \text{ و دمای تعادل برابر است با:}$$

اگر ظرفیت گرمایی ویژه را برحسب کالری بر گرم درجه سانتیگراد، بگذاریم خواهیم داشت:

$$\theta_2 = \frac{100 \times 0 / 107 \times 80 + 53 / 5 \times 1 \times 20}{100 \times 0 / 107 + 53 / 5} = 30 / 0^\circ \text{C}$$

مثال ۴- دمای اولیه m گرم از مایع A، $2m$ گرم از مایع B، $3m$ گرم از مایع C به ترتیب 30°C ، 20°C و 10°C است. اگر مایعهای A و B را مخلوط کنیم، دمای مخلوط 25°C می شود و اگر مایعهای B و C را مخلوط کنیم دمای تعادل $14/5^\circ \text{C}$ می شود. اگر مایعهای A و C را مخلوط کنیم دمای تعادل چند درجه سانتیگراد می شود؟ از اتلاف گرما صرف نظر می شود.

حل : از قانون تعادل گرمایی استفاده می کنیم. می دانیم:

$$Q_1 = Q_2 \text{ و } Q = mC(\theta - \theta_1)$$

پس برای مایعهای A و B داریم:

$$mC_A(30 - 25) = 2mC_B(25 - 20)$$

$$\Rightarrow 5C_A = 10C_B \Rightarrow C_A = 2C_B$$

برای مایعهای B و C داریم:

$$2mC_B(20 - 14/5) = 3mC_C(14/5 - 10)$$

$$\Rightarrow 11C_B = 13/5C_C$$

حالا با استفاده از روابط فوق C_A را برحسب C_C به دست می آوریم:

$$\begin{cases} C_A = 2C_B \\ 11C_B = 13/5C_C \end{cases} \Rightarrow 5/5C_A = 13/5C_C$$

$$\Rightarrow C_A = \frac{13/5}{5/5} C_C$$

اکنون قانون تعادل گرمایی را برای مایعهای A و C می نویسیم:

$$mC_A(30 - \theta) = 3mC_C(\theta - 10)$$

$$\Rightarrow \frac{13/5}{5/5} C_C(30 - \theta) = 3C_C(\theta - 10)$$

$$\Rightarrow 405 - 13/5\theta = 16/5\theta - 165$$

$$\Rightarrow 570 = 30\theta \Rightarrow \theta = 19^\circ \text{C}$$

این مسئله‌ها را حل کنید:

۱ - گرماسنجی دارای ۷۶۰ گرم آب 15° سانتیگراد و ارزش آبی ۴۰ گرم است. اگر یک قطعه پلاتین به جرم ۱۰۰ گرم از کوره خارج کرده، در گرماسنج قرار دهیم، دمای تعادل $18/5$ درجه سانتیگراد می‌شود. دمای کوره چقدر است؟ ظرفیت گرمایی ویژه پلاتین $134/4 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$ است.

ج: 893°C

۲ - نسبت جرم حجمی دو جسم A و B برابر $\frac{2}{3}$ و نسبت ظرفیت گرمایی ویژه آنها $\frac{4}{3}$ است. نسبت ظرفیت گرمایی آنها در واحد حجم چقدر است؟

ج: $\frac{8}{9}$

۳ - چه مقدار گرما لازم است تا دمای ۵۰۰ گرم آب را از دمای ۱۰ درجه سانتیگراد به 104 درجه فارینهایت برساند؟ $C = 4200 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$

ج: 15000 cal

۴ - برای آنکه ۲۰۰ گرم جیوه از دمای 20° به 30° سانتیگراد برسد، ۶۰ کالری گرما لازم است. ظرفیت گرمایی ویژه جیوه چقدر است؟

ج: $C = 0/03 \text{ cal/g }^{\circ}\text{C}$

۵ - ۳۰۰ گرم آب جوش صد درجه سانتیگراد را با ۱۸۰ گرم آب 28 درجه مخلوط می‌کنیم. دمای تعادل چقدر می‌شود؟

ج: $\theta_2 = 73^{\circ}\text{C}$

۶ - برای تهیه ۱۲۰ گرم آب 21 درجه، چند گرم آب 6 درجه سانتیگراد را با چند گرم آب جوش باید مخلوط کرد؟ (در تهران آب در 96 درجه سانتیگراد به جوش می‌آید)

ج: ۲۰ گرم آب 96 درجه و ۱۰۰ گرم آب 6 درجه

۷ - با استفاده از داده‌های زیر ظرفیت گرمایی ویژه الکل را مشخص کنید:

جرم گرماسنج برنجی $20/4 \text{ g}$ دمای اولیه قطعه مس $98/0^{\circ}\text{C}$

۱ - منظور از ارزش آبی ۴۰ گرم آن است که گرماسنج را از نظر تبادل گرمایی می‌توان معادل ۴۰ گرم آب در محاسبات در نظر گرفت.

جرم گرماسنج و الکل $70/5g$ دمای تعادل $12/6^{\circ}C$
 جرم يك قطعه مس $10/5g$ ظرفیت گرمایی ویژه مس $399J/kg^{\circ}C$
 دمای اولیه گرماسنج و الکل $10/0^{\circ}C$ ظرفیت گرمایی ویژه برنج $390J/kg^{\circ}C$

ج: $2587J/kg^{\circ}C$

۸ - در ظرف مسی به شکل نیمکره که حجم داخلی آن در صفر درجه، ۳ لیتر است، ۳ لیتر آب ۳۰ درجه سانتیگراد می ریزیم، دمای تعادل $27^{\circ}C$ می شود. ضخامت ظرف در صفر درجه چقدر است؟ ظرفیت گرمایی ویژه مس $5095/0$ کالری بر گرم درجه سانتیگراد و جرم حجمی مس $8/8g/cm^3$ و جرم حجمی آب در دمای $30^{\circ}C$ برابر 509957 گرم بر سانتیمتر مکعب است.

ج: $e = 4/4mm$

۹ - در ظرفی برنجی که ظرفیت گرمایی آن $210J/^{\circ}C$ و دمای $10^{\circ}C$ است، ۲ کیلو گرم آب ۲۰ درجه سانتیگراد می ریزیم و سپس قطعه فلزی که دمای ۳۰۰ درجه سانتیگراد است، در آن قرار می دهیم. اگر دمای تعادل برابر $40^{\circ}C$ شود، ظرفیت گرمایی آن فلز، بر حسب $J/^{\circ}C$ و $cal/^{\circ}C$ چقدر است؟

ج: $581J/^{\circ}C$ و $138/3cal/^{\circ}C$

۱۰ - يك قطعه سرب $27^{\circ}C$ ، به حجم ۸۰ سانتیمتر مکعب، $8/136$ کیلو کالری گرما می گیرد، تا شروع به ذوب کند. در صورتی که دمای ذوب سرب $327^{\circ}C$ و ظرفیت گرمایی ویژه آن $503cal/g^{\circ}C$ باشد، معین کنید جرم حجمی سرب را.

ج: $11/3g/cm^3$

انبساط جامدات و مایعات

هدفهای رفتاری

انتظار می‌رود خواننده با مطالعه این بخش بتواند:

- ۱- اصطلاحات ضریب انبساط خطی، ضریب انبساط سطحی، ضریب انبساط حجمی، ضریب انبساط مطلق و ضریب انبساط ظاهری را تعریف کند.
- ۲- انبساط خطی، سطحی و حجمی مواد را توضیح و تشریح کند.
- ۳- رابطه جرم حجمی و دما را محاسبه کند.
- ۴- انبساط مایعات را شرح دهد.
- ۵- انبساط آب و علت غیرعادی بودن آن را با استفاده از ساختمان مولکولی توضیح دهد.
- ۶- مسئله‌های آخر بخش را به درستی تجزیه و تحلیل کند.

انبساط جامدات

آزمایشهای روزانه نشان می‌دهد که اغلب اجسام جامد، در اثر گرفتن گرما و افزایش دما منبسط می‌شوند و بر حجم آنها افزوده می‌گردد. توجیه و تفسیر این عمل بر طبق تئوری مولکولی آسان است؛ زیرا می‌توان گفت که وقتی جسمی گرم‌تر شود، دامنه نوسان اتمها و مولکولهای آن افزایش می‌یابد و همین موضوع سبب می‌شود که مولکولها جای بیشتری اشغال کنند و در نتیجه حجم جسم بزرگ‌تر شود. افزایش حجم جسم در اثر دما، به صورت افزایش هریک از بعدهای آن و در نتیجه افزایش سطح آن ظاهر می‌شود. چنانچه میله‌ای

را گرما دهیم، افزایش حجم میله در طول آن بیشتر محسوس است تا سطح مقطع میله، در صورتی که اگر یک ورقه فلزی را گرم کنیم، افزایش سطح آن بیشتر محسوس خواهد بود و در گلوله فلزی افزایش حجم به طور کلی جلب توجه می کند. بسته به آنکه افزایش طول یا سطح یا حجم در اثر گرما مورد نظر باشد، انبساط را خطی، سطحی یا حجمی می نامیم که در اینجا درباره هر یک مطالبی می آوریم.

انبساط خطی - اگر میله ای را گرما دهیم طول آن افزایش می یابد و اندازه گیری نشان می دهد که میزان افزایش طول میله به دو عامل افزایش دما (θ) و نیز طول اولیه (L_0) بستگی دارد. بنا بر تعریف اندازه انبساط واحد طول جسم جامد وقتی که دمای آن یک درجه سانتیگراد افزایش یابد، ضریب انبساط خطی آن جسم جامد نامیده می شود. ضریب انبساط خطی را با λ نشان می دهند. در جدول زیر ضریب انبساط خطی متوسط چند جسم ثبت شده است.

ضریب انبساط خطی متوسط چند جسم

جامد	ضریب انبساط خطی متوسط	جامد	ضریب انبساط خطی متوسط
روی	$2/9 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$	مس	$1/7 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$
سرب	$2/7 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$	آهن	$1/2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$
آلومینیم	$2/6 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$	بتون	$1/1 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$
برنج	$1/9 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$	فولاد	$1/1 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$
نقره	$1/8 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$	شیشه معمولی	$0/85 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$

چنانچه طول میله ای در دمای صفر برابر l_0 باشد، اگر آن را به دمای θ ببریم افزایش طول میله (Δl) با استفاده از تعریف ضریب انبساط خطی و تناسب زیر به دست می آید:

$$\lambda \text{ (افزایش طول)} \quad \theta \text{ (درجه - افزایش دما)} \quad 1 \text{ (واحد طول)}$$

$$\lambda \quad \theta \quad l_0$$

$$\chi = \Delta l = \lambda l_0 \theta$$

و طول میله در دمای θ عبارت است از

$$l = l_0 + l_0 \lambda \theta = l_0 (1 + \lambda \theta)$$

باید توجه داشت که در رابطه بالا، λ ضریب انبساط خطی متوسط جسم است و معمولاً در جدول اندازه آن را بین صفر تا صد درجه سانتیگراد ثبت می‌کنند.

ضریب انبساط خطی^۱ - با استفاده از رابطه $l = l_0(1 + \lambda\theta)$ ضریب انبساط خطی از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\lambda = \frac{l - l_0}{l_0 \theta}$$

برای تعیین λ لازم است که طول میله در دمای صفر مشخص شود و چون این کار همیشه به سادگی صورت نمی‌گیرد می‌توان با اندازه گرفتن l_1 و l_2 ، طول یک میله در دو دمای θ_1 و θ_2 ضریب انبساط خطی را از روابط زیر به دست آورد:

$$l_1 = l_0(1 + \lambda\theta_1) \quad \text{و} \quad l_2 = l_0(1 + \lambda\theta_2)$$

$$\frac{l_2}{l_1} = \frac{1 + \lambda\theta_2}{1 + \lambda\theta_1} = \frac{1 + \lambda\theta_2}{1 + \lambda\theta_1} \times \frac{1 - \lambda\theta_1}{1 - \lambda\theta_1} = \frac{(1 + \lambda\theta_2)(1 - \lambda\theta_1)}{1 - \lambda^2\theta_1^2}$$

نظر به اینکه λ بینهایت کوچک است، λ^2 بینهایت کوچک از مرتبه دوم است و می‌توان از $\lambda^2\theta_1^2$ صرف نظر کرد پس:

$$\frac{l_2}{l_1} = (1 + \lambda\theta_2)(1 - \lambda\theta_1) \Rightarrow \frac{l_2}{l_1} = 1 + \lambda(\theta_2 - \theta_1) - \lambda^2\theta_1\theta_2$$

با صرف نظر کردن از جمله $\lambda^2\theta_1\theta_2$ داریم:

$$\frac{l_2}{l_1} = 1 + \lambda(\theta_2 - \theta_1)$$

و با قراردادن $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$:

$$l_2 = l_1(1 + \lambda\Delta\theta) \Rightarrow \lambda = \frac{l_2 - l_1}{l_1\Delta\theta}$$

مثال ۱- طول میله ای در دمای 40°C برابر ۱۰۰ سانتیمتر و در دمای 100°C برابر ۱۰۰/۱ سانتیمتر است. معین کنید ضریب انبساط طولی میله و نیز طول آن را در دمای

۱- ضریب انبساط خطی متوسط یک جسم جامد از رابطه $\lambda = \frac{1}{l_1} \times \frac{l_2 - l_1}{\theta_2 - \theta_1} = \frac{1}{l_1} \frac{\Delta l}{\Delta \theta}$

به دست می‌آید. اگر تغییر دما کوچک باشد، تغییر طول نیز کوچک خواهد بود و در حالتی که تغییر دما به سمت صفر میل کند، ضریب انبساط طولی را ضریب انبساط حقیقی در دمای θ

نامند. در این صورت رابطه بالا را به صورت $\lambda = \frac{1}{l} \frac{dl}{d\theta}$ نشان می‌دهند.

صفر درجه سانتیگراد.

$$\theta_1 = 40^\circ \text{C}$$

$$\theta_2 = 100^\circ \text{C}$$

$$l_1 = 100 \text{ cm}$$

$$l_2 = 100/1 \text{ cm}$$

$$\lambda = ?$$

$$l_0 = ?$$

حل: می دانیم $\lambda = \frac{l_2 - l_1}{l_1 \Delta \theta}$ و با قراردادن هریک از اندازه های داده شده در فرمول، خواهیم داشت:

$$\lambda = \frac{100/1 - 100}{100 \times (100 - 40)} = 1/66 \times 10^{-5}$$

و اندازه طول میله در دمای صفر درجه از رابطه زیر به دست می آید:

$$\Delta \theta = \theta' - \theta = \theta' - 0 = \theta' \quad \text{و} \quad l' = l_0 (1 + \lambda \theta')$$

$$\Rightarrow l_0 = \frac{l'}{1 + \lambda \theta'} = \frac{100/1}{1 + 1/66 \times 10^{-5} \times 100} = 99/9 \text{ cm}$$

مثال ۲- طول هریک از نوارهای نازک برنجی و فولادی در دمای صفر درجه سانتیگراد برابر ۱۰۰ متر است. در یک روز گرم مشخص شد که طول نوار برنجی ۲/۴ سانتیمتر از طول نوار دیگری بیشتر است. معین کنید دمای هوا را در آن روز، و نیز طول هریک از نوارها را در آن دما، در صورتی که ضریب انبساط خطی متوسط برنج $1/9 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ \text{C}^{-1}$ و ضریب انبساط خطی متوسط فولاد $1/1 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ \text{C}^{-1}$ باشد.

حل: طول هر دو نوار فلزی افزایش یافته است و مقدار این افزایش طول برابر است با:

$$\begin{aligned} \Delta l_1 &= l_1 \lambda_1 \Delta \theta = 100 \times 1/9 \times 10^{-5} \Delta \theta \\ &= 1/9 \times 10^{-3} \Delta \theta \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta l_2 &= l_2 \lambda_2 \Delta \theta = 100 \times 1/1 \times 10^{-5} \Delta \theta \\ &= 1/1 \times 10^{-3} \Delta \theta \end{aligned}$$

از طرف دیگر تفاوت این دو اندازه طول برابر $0/024 \text{ m} = 2/4 \text{ cm}$ است. پس:

$$\Delta l_1 - \Delta l_2 = 0.024 \text{ m}$$

$$\Rightarrow 1/9 \times 10^{-3} \Delta \theta - 1/1 \times 10^{-3} \Delta \theta = 0.024$$

$$\Rightarrow 0.18 \times 10^{-3} \Delta \theta = 0.024$$

$$\Rightarrow \Delta \theta = 30^\circ \text{C} \text{ و } \Delta \theta = \theta' - 0 \Rightarrow \theta' = \Delta \theta = 30^\circ \text{C}$$

پس دمای هوا در آن روز ۳۰ درجه سانتیگراد بوده است. طول هریک ازدونوار نیز برابر است با:

$$\begin{aligned} l_1 &= l_0 (1 + \lambda_1 \theta') \\ &= 100 (1 + 1/9 \times 10^{-5} \times 30) \\ &= 100.057 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} l_2 &= l_0 (1 + \lambda_2 \theta') \\ &= 100 (1 + 1/1 \times 10^{-5} \times 30) \\ &= 100.033 \text{ m} \end{aligned}$$

انبساط سطحی - يك صفحه مربع مستطیل شكل فلزی را در نظر می گیریم و آن را گرما می دهیم. آزمایش نشان می دهد كه دوائر بالا رفتن دما، طول و عرض فلز و در نتیجه سطح آن افزایش می یابد. اگر سطح فلز را پیش از گرم شدن با A_1 و پس از آنكه آن را به اندازه θ گرم كردیم با A_2 نشان دهیم، با استفاده از ضریب انبساط سطحی جسم (β) رابطه $A_2 = A_1 (1 + \beta \theta)$ را می توان بین A_2 و A_1 به دست آورد.

با استدلال زیر می توان ثابت كرد كه اندازه β تقریباً ۲ برابر λ است. اگر سطح جسمی به شكل مربع مستطیل باشد و طول و عرض آن را به ترتیب با a_1 و b_1 نشان دهیم، سطح آن در دمای اولیه برابر است با $A_1 = a_1 b_1$ و چنانچه آن را به اندازه θ گرم کنیم، طول و عرض و سطح آن برابر خواهد شد با:

$$a_2 = a_1 (1 + \lambda \theta) \quad \text{طول}$$

$$b_2 = b_1 (1 + \lambda \theta) \quad \text{عرض}$$

$$A_2 = a_2 b_2 = a_1 b_1 (1 + \lambda \theta)^2 \quad \text{مساحت}$$

$$A_2 = A_1 (1 + 2\lambda \theta + \lambda^2 \theta^2)$$

نظر به اینکه λ بینهایت كوچك است، λ^2 بینهایت كوچك از مرتبه دوم خواهد بود و می توان از $\lambda^2 \theta^2$ صرف نظر كرد و در نتیجه نوشت:

$$A_2 = A_1 (1 + 2\lambda \theta)$$

و اگر این رابطه را با رابطه $A_2 = A_1(1 + \beta\theta)$ مقایسه کنیم خواهیم داشت که $\beta = 2\lambda$
انبساط حجمی جامدات - در آزمایش گلوله حلقه، به سادگی مشاهده می شود که

اگرچه در دمای معمولی گلوله از حلقه می گذرد، اگر گلوله را
 حرارت دهیم، از حلقه نمی گذرد و چنانچه حلقه و گلوله هر دو
 گرم شوند، دوباره گلوله از حلقه خواهد گذشت (شکل ۱۰).

این آزمایش نشان می دهد که گلوله فلزی در اثر افزایش دما،
 افزایش حجم می یابد. با استدلالی شبیه آنچه که در مورد انبساط
 خطی و سطحی انجام شد، می توان رابطه زیر را برای حجم یک
 جسم جامد وقتی به اندازه θ گرم می شود به دست آورد:

$$V_2 = V_1(1 + k\theta)$$

در این رابطه k را ضریب انبساط حجمی جسم نامند و آن عبارت
 است از اندازه انبساط واحد حجم جسم جامد، وقتی که دمای
 آن یک درجه سانتیگراد بالا رود. ضریب انبساط حجمی (k)
 تقریباً سه برابر ضریب انبساط خطی (λ) است.

شکل ۱۰

مثال ۳- مکعبی از برنج به ضلع ۱۰ سانتیمتر، در دمای 15°C
 موجود است. معین کنید سطح کل و حجم آن را در دمای 60°C .

$$(\lambda = 1/9 + 10^{-5}/^\circ\text{C})$$

حل: داده ها و خواسته های مسئله عبارتند از:

الف - داده ها: دمای اولیه $\theta_1 = 15^\circ\text{C}$ ب - خواسته ها: $A = ?$ سطح کل

$V = ?$ حجم کل

طول هر ضلع $l_1 = 10\text{cm}$

دمای نهایی $\theta_2 = 60^\circ\text{C}$

ضریب انبساط خطی $\lambda = 1/9 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$

می دانیم که سطح کل مکعب شش برابر سطح هریک از وجوه آن است و اندازه
 سطح هروجه از رابطه زیر به دست می آید:

$$A_2 = A_1(1 + \beta\theta)$$

از طرف دیگر داریم:

$$A_1 = l_1^2 = 100\text{cm}^2$$

$$\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1 = 60 - 15 = 45^\circ\text{C}$$

$$\beta = 2\lambda = 2 \times 1/9 \times 10^{-5} = 3/8 \times 10^{-5}$$

پس مساحت هروجه برابر است با

$$A_r = 100(1 + 3/8 \times 10^{-5} \times 45) = 100/171 \text{ cm}^2$$

$$A = 6A_r = 6 \times 100/171 = 601/026 \text{ cm}^2 \quad \text{سطح کل}$$

حجم کل عبارت است از:

$$v = v_1(1 + k\theta)$$

$$k = 3\lambda = 3 \times 1/9 \times 10^{-5} = 5/7 \times 10^{-5} \quad \text{و}$$

$$v_1 = l_1^3 = 1000 \text{ cm}^3$$

$$v = 1000(1 + 5/7 + 10^{-5}) = 1002/565 \text{ cm}^3$$

رابطه جرم حجمی جسم جامد با دما- اگر جسم جامدی را حرارت دهیم، جرمش

تقریباً ثابت می ماند ولی حجمش افزوده می شود و در نتیجه جرم حجمی آن کاهش می یابد.

اگر جرم حجمی و حجم جسم را در صفر درجه سانتیگراد به ترتیب با ρ_0 و v_0 و همین اندازه ها را در دمای θ با ρ_θ و v_θ نشان دهیم، رابطه زیر را بین آنها می توان نوشت:

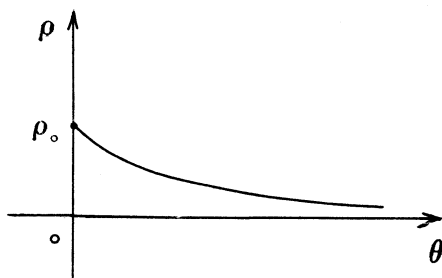
$$\rho_0 = \frac{M}{v_0}, \quad \rho_\theta = \frac{M}{v_\theta} \Rightarrow \frac{\rho_0}{\rho_\theta} = \frac{v_\theta}{v_0}$$

در این روابط M جرم جسم است و چون $v_\theta = v_0(1 + k\theta)$ است، داریم:

$$\frac{\rho_0}{\rho_\theta} = \frac{v_0(1 + k\theta)}{v_0} = 1 + k\theta$$

در نتیجه $\rho_\theta = \frac{\rho_0}{1 + k\theta}$. این رابطه

نشان می دهد که هر اندازه جسمی گرمتر شود، جرم حجمی آن کمتر می شود. نمودار تغییرات جرم حجمی نسبت به دما مطابق شکل روبه روست.



شکل ۱۱

انبساط اجسام بلوری- در

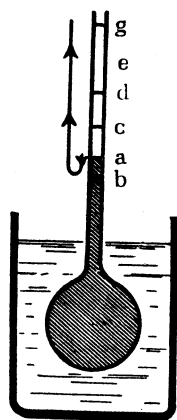
اجسام بلوری، ضریب انبساط خطی، معمولاً در امتدادهای مختلف، متفاوت

است و حتی در بعضی بلورها مانند اسپات ایسلند (CaCO_3 ، کربنات کلسیم یا کلسیت)، افزایش دما سبب می شود که در امتداد محور، بلور منبسط ولی در امتداد عمود بر آن منقبض گردد؛ با این حال چون ضریب انبساط خطی در امتداد محور بسیار بزرگتر از ضریب کاهش

آن است، در نتیجه حجم بلور در نتیجه گرما زیاد می شود.

چند نکته در انبساط جامدات

- الف - ریل‌های راه آهن را با فاصله نصب می کنند تا انبساط آنها در تابستان موجب کج شدن ریل نشود.
- ب - در لوله های آب گرم یا بخار آب گرم، محل اتصال لوله ها را زانویی می بندند تا انبساط و انقباض لوله ها بر آنها اثر نکند و سبب شکستن لوله ها نشود.
- ج - سیم های تلگراف را بین دوتیر، کاملاً کشیده نصب نمی کنند تا آنکه انقباض سیم ها در زمستان سبب پاره شدن آنها نشود.
- د - يك یا دوطرف پلهای فلزی را روی پایه هایی متکی کرده، آنها را آزاد می گذارند تا در اثر تغییر دمای محیط و انبساط و انقباض آنها پل خراب نشود.
- ه - برای باز کردن درب‌طریهای شیشه‌ای، سرپوش را کمی گرم می کنند.
- و - برای آنکه دو صفحه فلزی کاملاً به یکدیگر بچسبند، سوراخی در يك نقطه مشترك آنها ایجاد می کنند و در حالی که محل سوراخ را حرارت می دهند، میخ سردی از سوراخ عبور می دهند و دوطرف آن را پرچ می کنند.
- ز - با استفاده از تفاوت ضریب انبساط خطی اجسام، کلیدهای خودکار ساخته می شود.



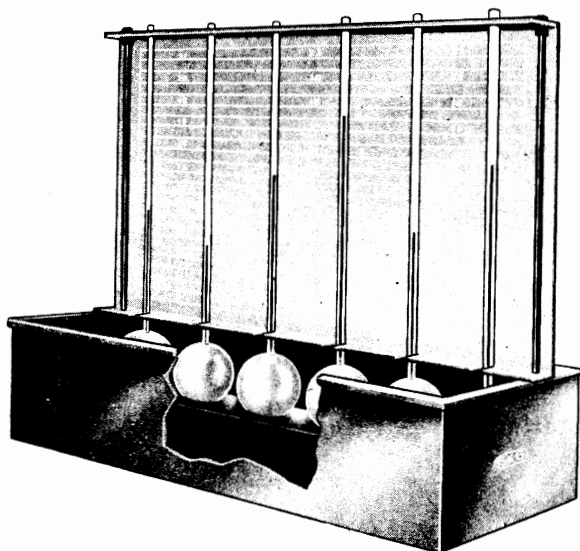
انبساط مایعات

بسیاری از مایعات در اثر گرم شدن منبسط می شوند، ولی چون انبساط مایع با انبساط ظرف آن همراه است، به آسانی نمی توان اندازه تغییر حجم مایع را در اثر تغییر دما، اندازه گرفت و لازم است که تغییر حجم ظرف را نیز در اندازه گیرها دخالت دهیم. برای این منظور، در يك بالن که لوله شیشه‌ای از درپوش چوب پنبه‌ای آن می گذرد، مقداری مایع، مثلاً نفت می ریزیم و سطح مایع را در آن نشان می کنیم (شکل ۱۲). اگر بالن را داخل ظرف آبی مطابق شکل قرار داده، حرارت دهیم، ملاحظه می شود که ابتدا سطح مایع با سرعت به پایین حرکت می کند و پس از مدتی شروع به بالا رفتن می کند، به طوری که از سطح اولیه

خود هم بالاتر می‌رود.

علت پایین رفتن سطح مایع در اویل آزمایش آن است که ظرف زودتر از مایع درون آن گرم می‌شود و در نتیجه حجم آن افزایش می‌یابد و سطح مایع در آن پائین می‌رود ولی پس از آنکه مایع درون ظرف گرم شد، شروع به انبساط می‌کند و چون ضریب انبساط آن از ضریب انبساط ظرف بیشتر است، سطح مایع بالاتر از سطح اولیه می‌رود.

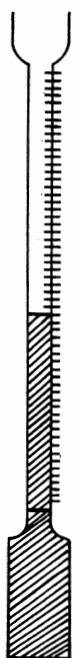
ضریب انبساط مطلق يك مایع - اگر حجم مایعی را که در ظرف است با v_1 نشان دهیم، موقعی که آن را به اندازه θ گرم کنیم، حجم آن از رابطه $v = v_0(1 + A\theta)$ به دست می‌آید. در این رابطه A را ضریب انبساط مطلق مایع می‌نامند و آن عبارت است از افزایش حقیقی واحد حجم مایع به ازای افزایش يك درجه حرارت سانتیگراد. معلوم است که به دلیل افزایش حجم ظرف، افزایش حقیقی حجم مایع در ظرف، مشخص نمی‌شود و آنچه دیده می‌شود افزایش ظاهری حجم مایع است؛ به طوری که حجم مایع در ظرف را از این رابطه می‌توان محاسبه کرد: $v' = v_0(1 + A'\theta)$ در این رابطه، A' را ضریب انبساط ظاهری مایع نامند و رابطه آن با ضریب انبساط حقیقی به این صورت است: $A' = A - k$. که در آن k ضریب انبساط حجمی ظرف است.



شکل ۱۳

ضریب انبساط مطلق مایعات با یکدیگر متفاوت است. برای مشاهده تفاوت ضریب انبساط مایعات و نیز اندازه گیری آنها از دستگاهی مطابق شکل ۱۳ استفاده می‌شود. ابتدا

در ظرف فلزی، آب و یخ می‌ریزیم و بالنهای شیشه‌ای را از مایعات مختلفی که منظور بررسی آنهاست، تا سطح معینی (درجه صفر) پرمی‌کنیم. اگر ظرف آب و یخ را به تدریج حرارت دهیم، افزایش حجم هریک از مایعات را درون بالن‌ها مشاهده خواهیم کرد و می‌توان تغییرات حجم مایعات را با تغییرات دما نیز بررسی نمود.



مطالعه تجربی انبساط یک مایع - برای تعیین انبساط مطلق یک مایع می‌توان از ظرف انبساط سنج استفاده کرد. انبساط سنج از یک مخزن کوچک شیشه‌ای که به ساقه بلند و باریک مدرجی مطابق شکل ۱۴، متصل است تشکیل شده است. صفر درجه بندی لوله، در پایین ساقه و بالای مخزن است. اگر حجم مخزن انبساط سنج را تا خط صفر دردمای صفر درجه سانتیگراد به U_0 و حجم بین هر دو درجه متوالی را به u_0 نشان دهیم و ظرف را تا درجه n_0 پر از مایع باشد، حجم مایع درون ظرف دردمای صفر برابر است با: $V_0 = U_0 + n_0 u_0$. اگر مایع و ظرف را حرارت دهیم و آن را به دمای θ برسانیم، سطح مایع در مقابل درجه n قرار می‌گیرد و حجم ظاهری برابر خواهد شد با: $V' = U_0 + n u_0$. به سبب آنکه ظرف نیز منبسط شده است. حجم حقیقی مایع برابر خواهد بود با: $V_\theta = U + n u$ از سوی دیگر داریم: $U = U_0(1 + k\theta)$ و $u = u_0(1 + k\theta)$

$$V_\theta = U_0(1 + k\theta) + n u_0(1 + k\theta) = (U_0 + n u_0)(1 + k\theta)$$

$$\Rightarrow V_\theta = V'_\theta(1 + k\theta)$$

در این رابطه V_θ حجم حقیقی مایع و V'_θ حجم ظاهری مایع و k ضریب انبساط ظرف است.

شکل ۱۴

برای تعیین رابطه‌ای بین ضریب انبساط حقیقی (A) و ظاهری (A')

مایع، می‌توان به جای V_θ و V'_θ در رابطه بالا، روابط زیر را قرارداد:

$$V_\theta = V_0(1 + A\theta) \quad \text{حجم حقیقی مایع دردمای } \theta$$

$$V'_\theta = V_0(1 + A'\theta) \quad \text{حجم ظاهری مایع دردمای } \theta$$

$$V_0(1 + A\theta) = V_0(1 + A'\theta)(1 + k\theta)$$

که اگر از جمله $kA'\theta^2$ به دلیل آنکه بینهایت کوچک از مرتبه دوم است (A' و k هر دو بینهایت کوچک هستند) صرف نظر کنیم، خواهیم داشت:

$$A = A' + k$$

مثال ۴ - بالون انبساط سنجی درست است که حجم مخزن آن ۳۴۰۰ برابر حجم هریک از درجات لوله آن است و تا درجه ۴ آن را پر از الکل 0°C کرده، گرم می‌کنیم تا به 36°C برسد. در این صورت سطح الکل مقابل درجه ۱۳۵ می‌رسد. معین کنید

ضریب انبساط ظاهری الکل را، اگر ضریب انبساط حجمی ظرف $^{-1}^{\circ}\text{C} \times 10^{-5} \times 2/7$ باشد، ضریب انبساط مطلق الکل چقدر است؟

حل: حجم الکل در دمای صفر درجه برابر است با:

$$V_0 = U_0 + nu_0 = 3400u_0 + 4u_0 = 3404u_0.$$

حجم ظاهری این مایع در دمای 36°C برابر است با:

$$V' = U_0 + nu_0 = 3400u_0 + 135u_0 = 3535u_0.$$

حجم حقیقی مایع در دمای 36°C ، برابر است با:

$$V = V'(1 + k\theta) = 3535u_0(1 + 2/7 \times 10^{-5} \times 36) \\ = 3538/5u_0.$$

از طرف دیگر حجم ظاهری مایع از رابطه زیر به دست می آید:

$$V' = V_0(1 + A'\theta) \Rightarrow A' = \frac{V' - V_0}{V_0\theta}$$

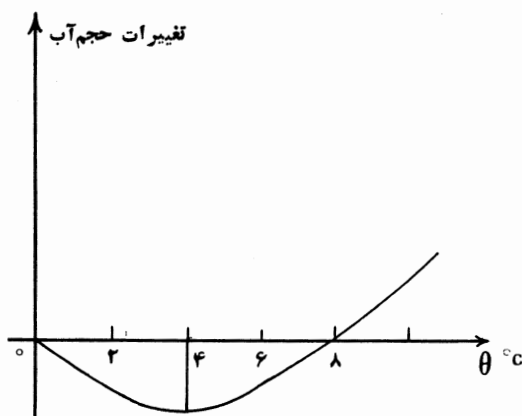
$$= \frac{3535u_0 - 3404u_0}{3404u_0 \times 36} = 10/7 \times 10^{-4}$$

و ضریب انبساط مطلق مایع برابر است با:

$$A = A' + k \Rightarrow A = 10/7 \times 10^{-5} + 2/7 \times 10^{-5} \\ = 10/97 \times 10^{-4}^{\circ}\text{C}^{-1}$$

انبساط آب - آب برخلاف مایعات دیگر دارای انبساط غیر عادی است. به طوری که

تغییرات حجم $V - V_0$	حجم آب $V(\text{cm}^3)$	دما
۰	۱۰۰۰/۰۰۰	۰
-۰/۰۱	۹۹۹/۹۰	۲
-۰/۱۳	۹۹۹/۸۷	۴
-۰/۱	۹۹۹/۹۰	۶
-۰/۰۱	۹۹۹/۹۹	۸
+۰/۱۴	۱۰۰۰/۱۴	۱۰
+۰/۳۲	۱۰۰۰/۳۲	۱۲
+۱/۶۴	۱۰۰۱/۶۴	۲۰

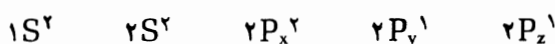


شکل ۱۵

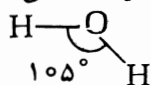
اگر در دمای صفر درجه سانتیگراد، ۱۰۰۰ سانتیمتر مکعب آب را در ظرفی بریزیم و آن را به تدریج گرم کنیم، اندازه گیری نشان می دهد که حجم آب تا دمای 4°C کم می شود و از آن پس افزایش می یابد و در دمای 8°C دوباره تقریباً همان حجم اولیه خود را می یابد و از آن پس حجمش بیشتر از ۱۰۰۰ سانتیمتر مکعب می شود. جدول و نمودار صفحه قبل تغییرات حجم آب را نسبت به دما نشان می دهند.

علت انبساط غیر عادی آب - علت انبساط غیر عادی آب مربوط به وضع مولکولهای آب در حالت جامد و مایع آن است. برای توضیح این پدیده، لازم است که ساختمان مولکولی آب و نیز اتمهای سازنده آن بررسی شود.

هر مولکول آب از یک اتم اکسیژن و دو اتم هیدروژن (H_2O) ترکیب شده است. هراتم اکسیژن دارای ۸ الکترون است. از این تعداد، ۲ الکترون بر سطح انرژی $K=1$ و شش الکترون بر سطح انرژی $L=2$ با آرایش زیر قرار دارند:



هر اتم هیدروژن دارای یک الکترون است ($1S^1$) و زمانی که یک اتم اکسیژن با دو اتم هیدروژن پیوند می یابد، مولکول قطبی^۱ آب را ایجاد می کنند که وضع اتمها در آن به این صورت است:



زاویه پیوند در این مولکول حدود 105° ($41'$ ، 104°) و فاصله دو مرکز اتمهای اکسیژن و هیدروژن ۰/۹۹ آنگستروم است. در مولکول آب علاوه بر آنکه هیدروژن و اکسیژن برهم نیرو وارد می کنند، نیروهای الکتروستاتیکی هم در اثر وجود هیدروژن موجود است که سبب می شود هر مولکول آب با چهار مولکول مجاور خود پیوند یابد (پیوند هیدروژنی) و یک شبکه بلوری را ترتیب دهد. دریخ مولکولهای آب کاملاً با یکدیگر پیوند یافته و حلقه های شش ضلعی به وجود می آورند. این شش ضلعیها همه به هم متصلند و ساختمان قفس مانند گسترده ای را در حجم یخ می سازند. فاصله بین دواکسیژن مجاور $22/76 \text{ \AA}$ است. وقتی که یخ را حرارت دهیم در دمای ذوب، یخ به شبکه های

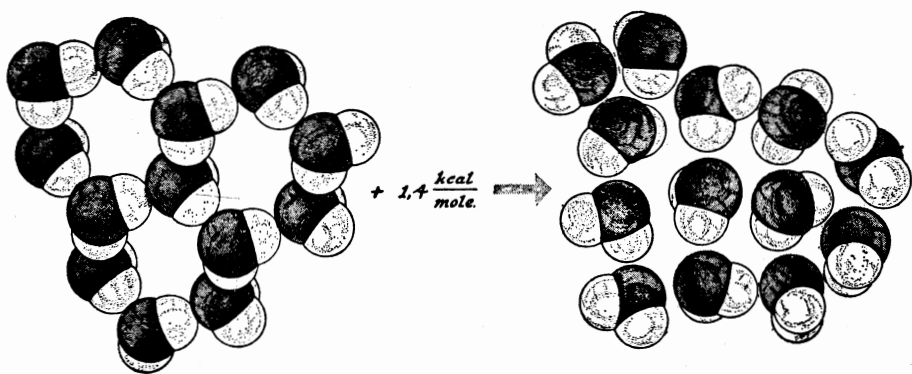
۱ - مولکول قطبی مولکولی است که نقطه اثر بارهای مثبت و منفی آن برهم منطبق نباشند. به سبب آنکه هسته اکسیژن دارای ۸ بار مثبت و هسته هیدروژن شامل یک بار مثبت است، بارهای منفی به طرف اکسیژن کشیده شده، از هیدروژن دور می شوند و در نتیجه بر آیند بارها در اطراف هسته هیدروژن مثبت و در اطراف اکسیژن منفی خواهد شد (مولکول قطبی آب) و همین امر نیروی الکتروستاتیکی ایجاد می کند که بر مولکولهای دیگر مؤثر است.

۲ - Ångström نام دانشمند سوئدی. آنگستروم واحد طول می باشد که برابر 10^{-10} متر است.

کوچکتری شکسته می‌شود و اگر بتوان در لحظه کوتاهی از این تبدیل عکسبرداری کرد، در عکس به نظر می‌رسد که کوه یخی شکسته می‌شود و هر قسمت می‌تواند بر قسمت دیگر بلغزد. وقتی دما را به تدریج افزایش دهیم، گرمایی که آب می‌گیرد، سبب شکسته شدن پیوندها بلوری و افزایش جنبش حرارتی می‌گردد. جنبش حرارتی بیشتر، سبب افزایش حجم ماده می‌شود، در صورتی که مولکولهایی که در شبکه بلوری در فاصله مشخصی از هم قرار داشتند، در حالت مایع به هم نزدیکترند و حجم کمتری را اشغال می‌کنند.

باید توجه داشت که در دمای صفر درجه همه مولکولهای یخ از شبکه بلوری خارج نمی‌شوند و در اثر افزایش دما، به تدریج شبکه بلوری شکسته می‌شود و مولکولها به هم نزدیکتر می‌شوند و همزمان، جنبش مولکولی سبب افزایش حجم مایع می‌شود. دو عامل کاهش و افزایش حجم سبب می‌شوند که تا دمای ۴ درجه، حجم آب به کمترین مقدار خود برسد و از آن پس، با زیاد شدن جنبش مولکولی، پدیده عادی افزایش حجم آب مشاهده می‌شود.

در هنگام سرد کردن آب تا دمای چهار درجه، حجم کاهش می‌یابد ولی در فاصله چهار درجه تا صفر درجه به سبب تشکیل پیوندهای تیدروژنی بین مولکولها و تشکیل شبکه بلوری، فاصله بین مولکولها زیادتیر و در نتیجه حجم افزایش می‌یابد.



شکل ۱۶

این مسئله‌ها را حل کنید

۱ - قطر يك حلقه برنجی ۳۵ میلیمتر و قطر يك گلوله آهنی در همان دما، ۳۵/۰۲

میلیمتر است. معین کنید حداقل تغییر دمای یکسان برای هر دو، تا گلوله از حلقه بگذرد. ضریب انبساط خطی برنج و آهن به ترتیب $1/9 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ و $1/2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ است. ج: 95°C

۲ - طول يك میله مسی در دمای 50°C برابر $2/00166$ متر و در دمای 200°C برابر $2/00664$ متر است. معین کنید طول این میله را در دمای صفر و نیز ضریب ازدیاد خطی مس را.

ج: $l_0 = 2\text{m}$ و $\lambda = 1/65 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$

۳ - فاصله دو ایستگاه تهران و اصفهان برابر 420 کیلومتر است. معین کنید حداقل مجموع فاصله‌هایی که باید بین ریل‌های راه آهن این دو ایستگاه موجود باشد، تا در اثر تغییر دما خمیدگی نیابند. دمای سردترین روز زمستان 20°C - و گرمترین روز تابستان 40°C منظور شود و ضریب انبساط خطی ریلها $1/2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ است.

ج: 302m

۴ - طول يك میله شیشه‌ای را با يك خط‌کش فلزی در دمای 20°C اندازه گرفتیم، برابر يك متر شد. اگر خط‌کش در صفر درجه سانتیگراد درست نشان دهد، طول میله شیشه‌ای در صفر درجه چقدر است؟ ضریب ازدیاد طول شیشه و فلز خط‌کش به ترتیب $8/5 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ و $2/9 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ است.

ج: $100/04\text{cm}$

۵ - طول یکی از پلهای فلزی که از آهن ساخته شده است 600 متر است. حداقل تغییرات طول این پل در زمستان و تابستان 36 سانتیمتر است. اگر ضریب انبساط خطی آهن 12×10^{-6} باشد، حداقل تغییرات دمای سالانه چقدر است؟

ج: 50°C

۶ - دو تیغه مسی و آهنی را که در دمای 20°C هم‌طول هستند و طول هریک از آنها 10 سانتیمتر است، به یکدیگر پرچ کرده‌ایم. در سردترین روزهای زمستان، در دمای 20°C - و در گرمترین روزهای تابستان، در دمای 40°C اختلاف طول آنها چه اندازه است؟ در هریک از این دو دما شکل مجموعه را نشان دهید. ضریب انبساط خطی آهن و مس به ترتیب $1/2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ و $1/66 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ است.

ج: در 20°C - ، $0/000184\text{cm}$ و در 40°C ، $0/00092\text{cm}$

۷ - قطریك صفحه دایره شکل فلزی در دمای 20°C برابر 30 سانتیمتر و قطر سوراخی که در وسط آن است، 10 سانتیمتر است. معین کنید قطر صفحه و قطر سوراخ را در

$$\lambda = 1/8 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C} \cdot 40^\circ\text{C}$$

$$\text{ج: } 10/0035\text{cm و } 30/01\text{cm}$$

۸- يك لوله شیشه‌ای را که حجم آن ۱۰۰ سانتیمتر مکعب در دمای صفر درجه سانتیگراد است، از جیوه صفر درجه پرمی کنیم. هنگامی که جیوه و لوله شیشه‌ای را گرم کنیم تا به دمای 100°C برسند، $1/52$ سانتیمتر مکعب جیوه از لوله بیرون می‌ریزد. معین کنید ضریب انبساط خطی شیشه را در صورتی که ضریب انبساط حقیقی جیوه $1/82 \times 10^{-4} / ^\circ\text{C}$ باشد.

$$\text{ج: } 1 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$$

۹- در يك صفحه آهنی، سوراخ مدوری ایجاد شده است که از آن سیمی مسی می‌گذرد. قطر سیم در دمای صفر درجه يك میلیمتر است و روزه‌ای حلقه مانند بین سیم و صفحه مشاهده می‌شود. قطر سوراخ چقدر باشد تا بر اثر افزایش دمای محیط، سطح روزه حلقه مانند تغییری نکند. ضریب انبساط خطی مس و آهن، به ترتیب $17 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ و $12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ است.

$$\text{ج: } d = 1/19\text{mm}$$

۱۰- در يك دماسنج جیوه‌ای، حجم جیوه در دمای صفر درجه سانتیگراد، برابر $0/5$ سانتیمتر مکعب و فاصله دونقطه صفر و صد، برابر 15 سانتیمتر است. معین کنید قطر سطح مقطع داخلی لوله این دماسنج را، در صورتی که ضریب انبساط خطی شیشه $8 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ و ضریب انبساط مطلق جیوه $181 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ باشد.

$$\text{ج: } d = 0/027\text{cm}$$

۱۱- طول يك میله را در دمای 10°C با يك خطکش اندازه گرفتیم که برابر 180 میلیمتر شد. اگر خطکش در دمای 20°C مدرج شده باشد خطای مطلق و خطای نسبی اندازه‌گیری چقدر است؟ $\lambda = 1/8 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$

$$\text{ج: } 0/03\text{mm و } \frac{1}{6000}$$

دوهمایی: خطای مطلق اندازه‌گیری عبارت است از تفاوت مقدار واقعی و مقدار اندازه‌گیری شده و خطای نسبی عبارت است از نسبت خطای مطلق به مقدار اندازه‌گیری شده.

۱۲- در يك ابزار فیزیکی مشخص شد که لازم است که اختلاف طول دوميله مسی و آهنی در هر دمای برابر 10 سانتیمتر باشد (ميله آهنی بلندتر است). معین کنید طول هر يك از دوميله را در صفر درجه سانتیگراد. ضریب انبساط خطی مس و آهن به ترتیب برابر است

با: $۱/۶۷ \times ۱۰^{-۶} / ^\circ\text{C}$ و $۱۱/۹ \times ۱۰^{-۶} / ^\circ\text{C}$

ج: $۲۰/۶\text{cm}$ و $۳۰/۶\text{cm}$

۱۳- در گذشته نوعی دماسنج به نام دماسنج وزنی در آزمایشگاهها به کار برده می شد. این دماسنج از یک مخزن پر از جیوه ساخته شده بود که وقتی دمای مخزن افزایش می یافت مقداری از جیوه از مخزن خارج می شد که وزن آن متناسب با درجه حرارت بود. در یک نمونه از این دماسنج مخزن دارای ۷۰۰ گرم جیوه در دمای صفر درجه است. اگر دمای آن درجه افزایش یابد چه وزنی از جیوه از مخزن خارج می شود. ضریب انبساط حقیقی جیوه $A = ۱/۸ \times ۱۰^{-۴} / ^\circ\text{C}$ و ضریب انبساط حجمی ظرف $k = ۲/۷ \times ۱۰^{-۵} / ^\circ\text{C}$ و جرم حجمی جیوه $۱۳/۶\text{g/cm}^3$ است.

ج: تقریباً $۰/۰۱\text{N}$ $F = ۱\text{g}$



انبساط گازها

هدفهای رفتاری

انتظار می‌رود خواننده با مطالعه این بخش بتواند:

- ۱- اصطلاحات ضریب انبساط گاز، گاز کامل، گاز حقیقی، ثابت گازها و ضریب اتمیسته را تعریف کند.
- ۲- قانونهای بویل-ماریوت، دالتن، شارل-گیلوساک و قانون عمومی گازها را شرح دهد و تجزیه و تحلیل کند.
- ۳- با استفاده از قانون عمومی گازها هر یک از حالت‌های خاص را به‌دست‌آورد.
- ۴- ثابت گازها را محاسبه کند.
- ۵- رابطه بین ظرفیت گرمایی ویژه گازها در حجم ثابت و در فشار ثابت را به‌دست‌آورد.
- ۶- مسئله‌های آخر بخش را به‌درستی تجزیه و تحلیل و حل نماید.

قانون بویل-ماریوت

گازها علاوه بر انقباض و انبساط در اثر حرارت و تغییر دما، تغییر فشار نیز می‌یابند و نیز در دمای ثابت با تغییر حجم آنها می‌توان فشارشان را تغییر داد و از این‌رو برای مطالعه گازها سه عامل وابسته به یکدیگر حجم (V)، فشار (P) و دما (θ) را در نظر می‌گیرند و تغییرات آنها را بررسی می‌کنند. برای سهولت مطالعه ابتدا هر یک از این سه عامل را

ثابت فرض می‌کنیم و تغییرات دو عامل دیگر را بررسی کرده و سپس به مطالعه حالت کلی می‌پردازیم.

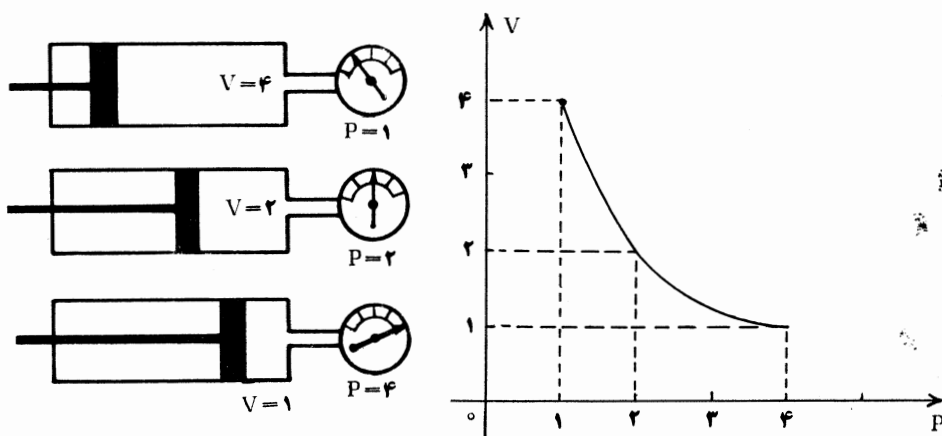
در حالتی که دمای گاز ثابت بماند قانون بویل-ماریوت با بیان زیر بین حجم و فشار گاز موجود است:

«اگر دمای جرم معینی از یک گاز ثابت بماند، تغییرات حجم و فشار آن گاز عکس یکدیگرند، به طوری که حاصل ضرب آنها همواره مقدار ثابتی است» و می‌توان نوشت:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 = k \quad \text{مقدار ثابت}$$

این رابطه را بین حجم و فشار مقدار معینی گاز در دمای ثابت، نخستین بار بویل^۱ در انگلستان و ماریوت^۲ در فرانسه به طور جداگانه کشف کردند.

برای تأیید تجربی این قانون می‌توان از جرم معینی گاز استفاده کرد که در درون استوانه‌ای با یک پیستون متحرک روی آن، قرار دارد. اگر با وارد کردن نیرو بر پیستون، فشار مؤثر بر گاز را دو برابر، سه برابر و... کنیم، حجم گاز $\frac{1}{2}$ یا $\frac{1}{3}$ یا... خواهد شد، به طوری که تغییرات دو عامل فشار و حجم عکس یکدیگرند (شکل ۱۷).



شکل ۱۷

باید توجه داشت که گازهای معمولی از این قانون پیروی نمی‌کنند و گازی که از این

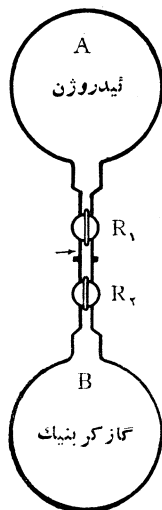
۱- Robert Boyle (۱۶۲۷-۱۶۹۱)

۲- Mariotte (۱۶۲۰-۱۶۸۴)

قانون پیروی کند گاز کامل^۱ نامیده می‌شود.

قانون دالتن

پرتوله نشان داده بود «اگر چند گاز که در ظرفهای مختلف قرار دارند و جرم حجمی آنها متفاوت است، را به یکدیگر مربوط کنیم، کاملاً با یکدیگر مخلوط می‌شوند.» او وقتی که ظرف نئیدروژن و گاز کربنیک را با یکدیگر متصل کرد، مشاهده کرد که این دو گاز به میزان مساوی با یکدیگر مخلوط می‌شوند (شکل ۱۸).



شکل ۱۸

دالتن با مطالعه و اندازه گیری حجم و فشار گازهای مخلوط به این نتیجه رسید که «در دمای ثابت و یکسان، فشار مخلوط چند گاز کامل، حاصل جمع فشارهای جزئی هریک از گازهای مخلوط است.» فشار جزئی هر گاز، یعنی فشار آن گاز، وقتی که آن گاز به تنهایی همه حجم ظرف محتوی مخلوط را اشغال کند.

$$P = p_1 + p_2 + \dots$$

باید توجه داشت که این رابطه برای گازهایی صادق است که باهم میل ترکیبی نداشته باشند و همچنین دمای گازها پیش از مخلوط شدن با هم برابر باشند.

مثال ۱- چهار لیتر نئیدروژن با فشار ۳ اتمسفر و ۲ لیتر گاز کربنیک

با فشار ۴ اتمسفر و ۶ لیتر نیتروژن با فشار ۳ اتمسفر را در ظرفی به حجم ۵ لیتر وارد کردیم. فشار مخلوط چه اندازه خواهد شد؟

حل: طبق قانون دالتن داریم: $P = p_1 + p_2 + p_3$ ، که در این رابطه P فشار مخلوط و p_1 و p_2 و p_3 فشارهای جزئی است. هریک از فشارهای جزئی با

۱- گاز کامل - مدلی که برای گاز کامل در نظر گرفته می‌شود چنین است:

الف- مولکولهای آن سخت و کروی هستند و بین مولکولها برخوردی کشسانی (الاستیک) صورت می‌گیرد.

ب- موقعی که مولکولها از هم بقدر کافی دور باشند، نیروهای متقابل بین آنها بوجود نمی‌آیند. فقط نیروی کشسانی در لحظه برخورد به وجود می‌آید و حرکت بین دو برخورد، حرکت یکنواخت بر خط راست است.

ج- حجم اشغال شده توسط هر مولکول، در مقایسه با حجم گاز ناچیز است.

استفاده از قانون بویل-ماریوت به صورت زیر خواهد بود:

$$p_1 V = P_1 V_1 \Rightarrow p_1 = \frac{P_1 V_1}{V} = \frac{4 \times 3}{5} = 2/4$$

فشار جزئی نیتروژن

$$p_2 V = P_2 V_2 \Rightarrow p_2 = \frac{P_2 V_2}{V} = \frac{2 \times 4}{5} = 1/6$$

فشار جزئی گاز کربنیک

$$p_3 V = P_3 V_3 \Rightarrow p_3 = \frac{P_3 V_3}{V} = \frac{6 \times 3}{5} = 3/6$$

فشار جزئی نیتروژن

فشار مخلوط برابر اتمسفر $P = 2/4 + 1/6 + 3/6 = 7/6$ است

اگر به جای هریک از فشارهای جزئی رابطه مربوط به آنها را در رابطه دالتن قرار دهیم، خواهیم داشت: $PV = P_1 V_1 + P_2 V_2 + P_3 V_3 + \dots$. یعنی دردمای ثابت حاصل ضرب حجم در فشار مخلوط چند گاز برابر است با مجموع حاصل ضربهای فشار هر گاز در حجم همان گاز.

رابطه دما و حجم گاز در فشار ثابت

اگر مقدار معینی گاز را در فشار ثابت حرارت دهیم، حجم آن افزایش می یابد. اندازه گیری نشان می دهد که افزایش حجم گاز، با حجم اولیه و با ازدیاد دمای آن بستگی دارد. شارل^۱ و گیلوساک^۲ دونفر از فیزیکدانان فرانسوی، به طور جداگانه نشان دادند که «هرگاه فشار گازی ثابت بماند، در صورتی که دمای آن به اندازه یک درجه سانتیگراد افزایش یابد، تقریباً به اندازه $\frac{1}{273}$ حجمی که گاز در 0°C دارد، افزایش حجم می یابد.» این مقدار افزایش را برای واحد حجم گاز، ضریب انبساط گاز در فشار ثابت می نامند و با α نشان می دهند.

$$\left(\alpha = \frac{1}{273}\right)$$

با استفاده از تعریف ضریب انبساط گاز در فشار ثابت، می توان رابطه بین حجم گاز دردمای صفر (V_0) و دردمای θ (V_θ) را با تناسب زیر به دست آورد:

$$\begin{array}{ccc} \alpha & \text{افزایش حجم} & 1^\circ\text{C} \text{ افزایش دما} \\ & & \theta \\ x & & V_0 \text{ واحد حجم} \end{array}$$

$$x = V_0 \alpha \theta \quad \text{افزایش حجم}$$

$$V_\theta = V_0 (1 + \alpha \theta) \quad \text{و چون } V_\theta = V_0 + x \text{ است، پس:}$$

با استفاده از رابطه بالا ضریب انبساط حجمی گاز در فشار ثابت (α) از رابطه زیر به دست می آید:

$$\alpha = \frac{V_\theta - V_0}{V_0 \theta}$$

مثال ۲- در یک استوانه ۱۰۰ سانتیمتر مکعب هوا در دمای 20°C موجود است. اگر فشار مؤثر بر گاز ثابت بماند. معین کنید درجه دمایی حجم گاز برابر $110/24$ سانتیمتر مکعب خواهد شد؟

حل: اگر رابطه $V_\theta = V_0 (1 + \alpha \theta)$ را برای مقدار معینی گاز در دمای θ_1 و θ_2 بنویسیم و برهم تقسیم کنیم، خواهیم داشت:

$$V_1 = V_0 (1 + \alpha \theta_1) = V_0 \alpha \left(\frac{1}{\alpha} + \theta_1 \right) = V_0 \alpha (273 + \theta_1)$$

$$V_2 = V_0 (1 + \alpha \theta_2) = V_0 \alpha \left(\frac{1}{\alpha} + \theta_2 \right) = V_0 \alpha (273 + \theta_2)$$

و چون $T = 273 + \theta$ برابر دمای مطلق است، پس:

$$V_1 = V_0 \alpha T_1$$

$$\Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

$$V_2 = V_0 \alpha T_2$$

با استفاده از رابطه بالا دمای مجهول زیر به دست می آید:

$$\frac{110/24}{100} = \frac{T_2}{273 + 20} \Rightarrow T_2 = 323$$

$$T_2 = 273 + \theta_2 \Rightarrow \theta_2 = 323 - 273 = 50^\circ\text{C}$$

رابطه دما و فشار گاز در حجم ثابت

اگر حجم مقدار معینی گاز ثابت بماند و آن را گرم کنیم، فشارش افزایش می یابد. اندازه گیری نشان می دهد که ضریب ازدیاد فشار در حجم ثابت که به صورت زیر تعریف می شود، برای همه گازها تقریباً یکسان است. «ضریب ازدیاد فشار گاز در حجم ثابت عبارت است از

ازدیاد فشاری که برای واحد فشار گاز برابر افزایش يك درجه حرارت تولید شود. این ضریب را با β نشان می‌دهند.»

با استفاده از تعریف β ، می‌توان رابطه بین فشار گاز در دمای صفر درجه (P_0) و در دمای θ (P_θ) را مطابق آنچه برای تعیین رابطه $V_\theta = V_0(1 + \alpha\theta)$ به کار بردیم، به این صورت به دست آورد: $P_\theta = P_0(1 + \beta\theta)$. در این رابطه اندازه β برابر اندازه α است. برای اثبات این موضوع ($\alpha = \beta$) می‌توان مقدار معینی گاز صفر درجه را که فشار آن P_0 و حجم آن V_0 است در نظر گرفت و تغییرات زیر را، در دو حالت بر روی آن انجام داد:

الف - حجم گاز را ثابت نگاه می‌داریم و آن را θ درجه گرم می‌کنیم. در این صورت مشخصات گاز چنین خواهد شد:

$$(P_0(1 + \beta\theta)) \quad \text{(فشار)} \quad (V_0) \quad \text{(حجم)} \quad \theta \quad \text{(دما)}$$

ب - فشار گاز را ثابت نگاه می‌داریم و آن را θ درجه گرم می‌کنیم. مشخصات گاز چنین خواهد شد:

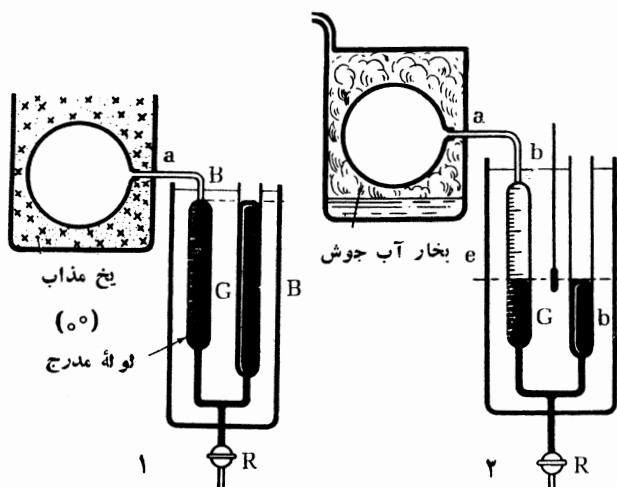
$$P \quad \text{(فشار)} \quad (V_0(1 + \alpha\theta)) \quad \text{(حجم)} \quad \theta \quad \text{(دما)}$$

با توجه به آنکه در بند الف و ب دما ثابت است، حاصل ضرب حجم در فشار در دو حالت طبق رابطه بویل-ماریوت برابر خواهد بود. یعنی:

$$V_0 \times P_0(1 + \beta\theta) = P \times V_0(1 + \alpha\theta) \Rightarrow \alpha = \beta$$

اندازه‌گیری ضریب انبساط گازها

برای اندازه‌گیری α از دستگاهی مطابق شکل ۱۹ استفاده می‌شود. این دستگاه از یک حباب شیشه‌ای و لوله U شکلی که به آن مربوط است، تشکیل شده است. در حباب شیشه‌ای گازی مانند تیدروژن یا هلیوم یا... قرار می‌گیرد و در لوله جیوه می‌ریزند و جیوه داخل لوله از راه لوله‌ای که به شیر R مربوط است می‌تواند کم یا زیاد شود. طرز کار دستگاه چنین است که ابتدا بالون را در ظرفی محتوی آب و یخ در حالت تعادل (دمای صفر درجه) قرار می‌دهند و به کمک شیر R، سطح جیوه را در دو شاخه G و B هم سطح می‌کنند. در این حالت دمای گاز درون لوله صفر و فشار آن برابر فشار هوای آزاد (در کنار دریا، يك جو) است. در وضع دیگر بالون را در ظرفی محتوی بخار آب جوش قرار می‌دهند، یا آنکه ظرف آب و یخ را حرارت می‌دهند تا تبخیر شود. در این صورت حجم گاز داخل حباب افزایش می‌یابد و سطح جیوه در لوله G پایین و در لوله B بالا می‌رود. با باز کردن شیر R و خروج جیوه



شکل ۱۹

از لوله‌ها، سطح جیوه را در دولوله، دوباره هم‌سطح می‌کنیم تا فشار گاز داخل لوله در این دما (۱۰۰ درجه سانتیگراد) همان مقدار قبلی یک‌جو باشد.

اگر حجم گاز درون حباب شیشه‌ای در دمای صفر درجه برابر ۲۷۳ سانتیمتر مکعب باشد ($V_0 = 273 \text{ cm}^3$)، پس از رسیدن به دمای جوش آب ($\theta = 100^\circ \text{C}$) صد سانتیمتر مکعب بر حجم آن افزوده می‌گردد و برابر $V = 373 \text{ cm}^3$ می‌شود و در نتیجه α ضریب افزایش حجم در فشار ثابت، از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\alpha = \frac{V - V_0}{V_0 \theta} = \frac{373 - 273}{273 \times 100} = \frac{1}{273}$$

مثال ۳- در یک دماسنج گازی که از تغییرات فشار در حجم ثابت استفاده می‌شود، ماده دماسنجی گاز هلیوم است. اندازه‌گیری نشان می‌دهد که فشار گاز هلیوم در صفر درجه سانتیگراد (ظرف آب و یخ) برابر ۷۶ سانتیمتر جیوه (یک‌جو) و در صد درجه سانتیگراد (بخار آب جوش) برابر $103/53$ سانتیمتر جیوه است. معین کنید اولاً ضریب ازدیاد فشار در حجم ثابت و نیز درجه دمایی فشار گاز ۲۲۸ سانتیمتر جیوه است؟

$$P_0 = 76 \text{ cmHg}$$

ضریب ازدیاد فشار از رابطه زیر به دست

$$P_{100} = 103/53 \text{ cmHg}$$

می‌آید:

$$P = 228 \text{ cmHg} \quad \beta = \frac{P_{100} - P_0}{100 P_0} = \frac{103/53 - 76}{100 \times 76} = \frac{1}{273}$$

حل:

و دمای گاز درحالتی که فشار ۲۲۸ سانتیمتر جیوه $\theta = ?$ و $\beta = ?$

است برابر خواهد بود با:

$$\theta = \frac{P - P_0}{\beta P_0} = 100 \cdot \frac{P - P_0}{P_{100} - P_0} = 100 \cdot \frac{228 - 76}{103.53 - 76} \\ = 546/30^\circ\text{C}$$

مثال ۴- اگر فرض کنیم که رابطه $P = P_0(1 + \beta\theta)$ در هر دمایی صادق و گاز تغییر حالت ندهد، معین کنید در چه دمایی فشار گاز بر جدار ظرف برابر صفر است؟
حل: رابطه بالا را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$P = P_0(1 + \beta\theta) = P_0\beta(273 + \theta)$$

در رابطه بالا برای آنکه $P = 0$ باشد، باید یکی از دو اندازه β و P_0 ، یا جمله داخل پرانتز برابر صفر باشد. چون $P_0\beta \neq 0$ ، پس جمله داخل پرانتز برابر صفر خواهد بود، یعنی:

$$273 + \theta = 0 \Rightarrow \theta = -273$$

پس در دمای -273 درجه سانتیگراد، فشار گازها برابر صفر است. این نقطه را صفر مطلق می‌نامند. در صفر مطلق مولکولها حرکت نمی‌کنند و انرژی جنبشی آنها برابر صفر است و چون بر جدار خود ضربه نمی‌زنند، فشاری نیز بر جدار وارد نمی‌کنند.

قانون عمومی گازها

با استفاده از قانون بویل-ماریوت و نیز قانونهای شارل-گیلوساک می‌توان رابطه‌ای بین تغییرات حجم و فشار و دمای جرم معینی گاز به دست آورد.

اگر حجم و فشار مقدار معینی گاز را در دمای صفر درجه سانتیگراد به V_0 و P_0 نشان دهیم و درحالتی که فشار گاز ثابت باشد، دمای گاز را به θ برسانیم، حجمش برابر با $V_0(1 + \alpha\theta)$ و فشارش همان P_0 خواهد بود. اگر در همین دمای θ ، حجم و فشار هر دو تغییر کنند و به P و V برسند، طبق قانون بویل-ماریوت حاصل ضرب حجم در فشار در دمای θ همواره مقدار ثابتی است. یعنی: $PV = P_0V_0(1 + \alpha\theta)$ رابطه بالا را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$PV = P_0V_0\alpha\left(\frac{1}{\alpha} + \theta\right)$$

$$\frac{1}{\alpha} + \theta = 273 + \theta = T \Rightarrow PV = P_0 V_0 \alpha T : \alpha = \frac{1}{273} \text{ چون}$$

در این رابطه V_0 حجم m گرم گاز در دمای صفر درجه سانتیگراد است و اگر حجم هر مولکول گرم گاز را در همین دما با $u_0 \text{ mol}$ و جرم آن را با M نشان دهیم، تعداد مولهای گاز که جرم آنها m گرم است، برابر است با:

$$n = \frac{m}{M} \text{ یا } n = \frac{V_0}{u_0 \text{ mol}} \Rightarrow V_0 = nu_0 \text{ mol}$$

بنابراین، رابطه $PV = P_0 V_0 \alpha T$ به صورت زیر درمی آید:

$$PV = nu_0 \text{ mol } P_0 \alpha T$$

حاصل ضرب $u_0 \text{ mol } P_0 \alpha$ برای همه گازها مقدار ثابتی است و آنرا با R نشان می دهند و رابطه بالا را به این صورت می نویسند: $PV = nRT$ و برای دو مقدار گاز در شرایط متفاوت همواره می توان نسبت زیر را نوشت:

$$\frac{P_1 V_1}{P_2 V_2} = \frac{n_1}{n_2} \times \frac{T_1}{T_2}$$

حالتهای خاص

رابطه بالا که قانون عمومی گازهای کامل نامیده می شود، در هر شرایطی برای گازهای کامل صادق است. در اینجا حالتهای مختلف بررسی می شود:

الف - اگر تعداد مولکول گرمهای دو گاز برابر باشند (یا جرم معینی از گاز در دو حالت مختلف)، داریم:

$$\frac{P_1 V_1}{P_2 V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

ب - اگر دمای گاز تغییر نکند ($T_1 = T_2$)، داریم:

$$\frac{P_1 V_1}{P_2 V_2} = 1 \Rightarrow P_1 V_1 = P_2 V_2 \text{ قانون بویل-ماریوت}$$

ج - اگر فشار گاز ثابت بماند ($P_1 = P_2$)، داریم:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

و اگر دمای اولیه، صفر درجه سانتیگراد باشد ($T_1 = 273 = \frac{1}{\alpha}$)، رابطه

بالا به صورت زیر خلاصه می شود:

$$V_2 = V_1 \frac{T_2}{T_1} = V_1 \alpha T_2 = V_1 \alpha (273 + \theta) = V_1 (1 + \alpha \theta)$$

قانون گیلوساک

د - اگر حجم گاز ثابت باقی بماند ($V_1 = V_2$)، داریم: $\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$ و اگر دمای

اولیه، صفر درجه سانتیگراد باشد، رابطه بالا به صورت زیر درمی آید:

$$P_2 = P_1 (1 + \alpha \theta) \quad \text{قانون شارل}$$

مثال ۵- مقدار R (ثابت عمومی گازها) در دستگاه SI چقدر است؟

حل: به طوری که گفتیم $R = P_0 V_0 \alpha$ است که V_0 حجم یک مولکول گرم گاز، P_0 فشار متعارفی برابر ۷۶ سانتیمتر جیوه و α ضریب افزایش حجم است. اندازه هریک از این کمیتها در دستگاه SI برابر است با:

$$P_0 = h_0 \rho g = 0.76 \times 13600 \times 9.81 = 1.01 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$V_{0,\text{mol}} = 22.4 \text{ lit} = 0.0224 \text{ m}^3 \quad \text{و} \quad \alpha = \frac{1}{273}$$

$$R = P_0 V_0 \alpha = 1.01 \times 10^5 \times 0.0224 \times \frac{1}{273}$$

$$= 8.314 \frac{\text{J (ژول)}}{\text{mol}^\circ\text{K (مول درجه کلوین)}}$$

مثال ۶- با استفاده از دستگاهی که با آن ضریب ازدیاد فشار در حجم ثابت را اندازه

می گیریم (شکل ۱۹) اندازه گیریهای زیر انجام شده است. فشار گاز در حباب شیشه در ظرف آب و یخ برابر ۹۱ سانتیمتر جیوه و در بخار آب جوش ۱۲۴/۳ سانتیمتر جیوه و در یک ظرف آب با دمای مجهول ۱۱۰ سانتیمتر جیوه است. معین کنید ضریب ازدیاد فشار گاز را در حجم ثابت و نیز دمای ظرف آب را.

حل: ضریب β از رابطه زیر به دست می آید:

$$\beta = \frac{P_{100} P_0}{P_0 \times 100} = \frac{124.3 - 91}{91 \times 100} = \frac{1}{273}$$

برای تعیین دما، با استفاده از قانون عمومی گازها می توان نوشت:

$$\frac{P_1 V_1}{P_2 V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

و چون حجم گاز ثابت است، پس $V_1 = V_2$ است و خواهیم داشت:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

اگر P_1 و T_1 فشار و دمای آب و یخ و T_2 را دمای ظرف آب بگیریم، به سادگی می توان T_2 را به صورت زیر به دست آورد:

$$\frac{91}{110} = \frac{273 + 0}{T_2} \Rightarrow T_2 = 330.07^\circ \text{K}$$

$$T_2 = 273 + \theta \Rightarrow \theta = 330.07 - 273 = 57.07^\circ \text{C}$$

جرم و جرم حجمی گاز

اگر در شرایط متعارفی (دمای صفر درجه سانتیگراد و فشار یک اتمسفر) حجم مقدار معینی گاز برابر V_0 و جرم حجمی آن برابر ρ_0 باشد، جرم آن از رابطه زیر به دست می آید:

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0} \Rightarrow m = \rho_0 V_0$$

و چنانچه گاز گرم شود و فشار آن به P برسد، طبق رابطه عمومی گازها خواهیم داشت:

$$\frac{PV}{P_0 V_0} = \frac{T}{T_0} \quad \text{یا} \quad V_0 = \frac{PV}{P_0} \times \frac{T_0}{T}$$

$$\Rightarrow m = \frac{\rho_0 P V T_0}{P_0 T} \quad \text{یا} \quad \rho = \frac{m}{V} \quad \text{و} \quad \rho = \rho_0 \frac{P}{P_0} \times \frac{T_0}{T}$$

مثال ۷- معین کنید جرم هوای اتاقی به ابعاد ۴ و ۵ و ۱۰ متر را در دمای ۵ درجه سانتیگراد. اگر دمای اتاق را به ۲۵ درجه سانتیگراد برسانیم، چه اندازه از جرم هوای اتاق خارج می شود، در صورتی که فشار هوای اتاق ثابت بماند. جرم حجمی هوا در دمای صفر درجه سانتیگراد، $1/3$ گرم بر لیتر است.

حل: جرم گاز از رابطه زیر به دست می آید:

$$T = 273 + 5$$

$$T_0 = 273$$

$$m = \rho_0 \frac{P}{P_0} \times \frac{T_0}{T} \times V$$

$$\rho_0 = 1/3 \text{ g/l}$$

که در این حالت $P = P_0$ و $V = 200 \text{ m}^3$ است. پس:

$$m = \rho_0 \frac{T_0}{T} \times V = 1/3 \times \frac{273}{278} \times 200 = 255/32 \text{ kg}$$

جرم هوای اتاق در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد برابر است با:

$$m' = \rho_0 \frac{T_0}{T'} V = 1/3 \times \frac{273}{298} \times 200 = 238/18 \text{ kg}$$

و جرم هوایی که از اتاق خارج شده است، برابر است با:

$$\Delta m = m' - m = 238/18 - 255/32 = -17/14 \text{ kg}$$

یعنی ۱۷/۱۴ کیلوگرم هوا از اتاق خارج شده است.

معادله گازهای حقیقی

معادله گازها را که به صورتهای گوناگون نوشتیم برای همه گازها و نیز در هر گونه شرایطی صادق نیست، بلکه رابطهای است تقریبی که خصایص پاره‌ای از گازها را و آن هم در شرایط محدودی مشخص می‌کند. برای نمونه رابطه $V = V_0(1 + \alpha\theta)$ در دماهای پایین صدق نمی‌کند، زیرا اگر دما را به صفر مطلق برسانیم، حجم گاز باید برابر صفر شود، ولی می‌دانیم که در اثر کاهش دما مولکولها به یکدیگر نزدیک می‌شوند و حتی موقعی که مولکولها در مجاورت یکدیگر و بی حرکت باشند، حجم آنها برابر صفر نخواهد شد و حجمی برابر b خواهند داشت. از این رو رابطه بالا را به صورت زیر می‌نویسند:

$$V - b = V_0(1 + \alpha\theta)$$

از طرف دیگر وقتی مولکولها به هم نزدیک شوند، علاوه بر فشاری که از خارج بر آنها اثر می‌کند، مولکولها بر هم اثر متقابل خواهند داشت که آن نیز فشار جدیدی را به وجود می‌آورد. این فشار را معمولاً با حرف n نشان می‌دهند. اگر اندازه‌های n و b را در فرمول کلی گازها قرار دهیم، رابطه زیر به دست می‌آید:

$$(P + n)(V - b) = RT$$

و اندک و اندک مقدار n را $\frac{a}{V^2}$ به دست آورد و رابطه بالا را به صورت زیر نوشت:

$$\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT$$

a و b ضرایب ثابتی هستند که اندازه آنها برای گازهای مختلف، متفاوت است. اگر به جای یک مولکول گرم گاز، n مولکول گرم گاز داشته باشیم، رابطه بالا به صورت زیر خواهد بود:

$$\left(P + \frac{n^2 a}{V^2}\right)(V - nb) = nRT$$

ظرفیت گرمایی ویژه گازها

گازها دارای دو نوع ظرفیت گرمایی ویژه هستند؛ یکی ظرفیت گرمایی ویژه در حجم ثابت (C_V) و دیگری ظرفیت گرمایی ویژه در فشار ثابت (C_P). وقتی فشار گاز ثابت باشد با زیاد شدن دما، حجم گاز افزایش می‌یابد و ذرات آن جابه‌جا می‌شوند و کاری انجام می‌شود. از این رو گرمای لازم که عامل تولیدی این کار است، بیش از موقعی است که حجم گاز ثابت باشد. پس $C_P > C_V$ است. نسبت $\frac{C_P}{C_V}$ را با γ (حرف یونانی باتلفظ گاما) نشان می‌دهند و آن را ضریب اتمیسیته گازها می‌نامند.

اندازه γ برای گازهای تک اتمی مانند نئون و آرگون برابر $\frac{5}{3} = 1.67$ و برای

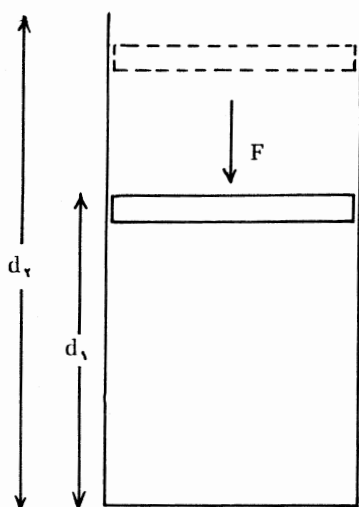
گازهای دواتمی مانند نیتروژن، اکسیژن و نیتروژن برابر $\frac{7}{5} = 1.40$ و برای گازهای سه اتمی و بالاتر مانند CO_2 برابر $\frac{4}{3} = 1.33$ است.

محاسبه نشان می‌دهد که بین C_P و C_V این رابطه برقرار است: $C_P = C_V + W$ که در این رابطه W کار انجام شده در اثر تغییر حجم گاز (در فشار ثابت) به ازای یک درجه حرارت سانتیگراد است. اگر C_P و C_V گرمای ویژه مولکولی باشند $W = R$ خواهد بود و می‌توان نوشت:

$$C_P = C_V + R$$

مثال ۸- درون استوانه قائمی یک مولکول گرم گاز زیر پیستونی قرار دارد. اگر گاز را یک درجه حرارت گرم کنیم، معین کنید این گاز چه مقدار کار انجام می‌دهد. با توجه به اینکه پیستون بدون اصطکاک است و به آسانی می‌تواند حرکت کند.

حل: وقتی گاز را حرارت دهیم، حجم گاز افزایش می‌یابد و پیستون به بالا رانده می‌شود و بر مولکولهای هوای بیرون نیرویی وارد می‌کند و آنها را



شکل ۲۰

جابه‌جا می‌کند و با این عمل کار انجام می‌دهد. مقدار کار انجام شده از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$W = F \cdot L$$

که F نیروی وارد از هوا بر پیستون است و از رابطه $F = P \cdot A$ محاسبه می‌شود. P فشار هوای بیرون است که با فشار هوای درون استوانه برابر است (به شرط آنکه پیستون سبک باشد) و A سطح پیستون است. اگر به‌جای F و L مساوی آنها را در رابطه کار قرار دهیم، خواهیم داشت:

$$W = F \cdot L = PA(d_2 - d_1) = P(Ad_2 - Ad_1)$$

$$= P(V_2 - V_1) \Rightarrow W = PV_2 - PV_1$$

V_1 و V_2 حجم گاز در دمای T_1 و $T_1 + 1$ هستند و طبق قانون گازها در هر یک از این دودما برای یک مولکول گرم گاز، می‌توان نوشت:

$$PV_1 = RT_1 \text{ و } PV_2 = R(T_1 + 1)$$

$$\Rightarrow W = R(T_1 + 1) - RT_1 = R$$

تذکره ۱- اگر به‌جای افزایش یک درجه حرارت، دما به اندازه ΔT افزایش یابد، کار انجام شده از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$W = R\Delta T = R(T_2 - T_1)$$

و اگر به‌جای یک مولکول گرم، n مولکول گرم گاز، یک درجه گرم‌تر شود، خواهیم داشت:

$$W = nR = \frac{m}{M}R$$

که m جرم گاز و M جرم مولکولی آن است.

تذکره ۲- اگر n مولکول گرم گاز در فشار ثابت ΔT افزایش دما یابد، کار انجام شده

برابر است با:

$$W = nR\Delta T = \frac{m}{M}R(T_2 - T_1)$$

انبساط و تراکم بی‌دررو

قانون بویل-ماریوت و نیز قانون دالتن، مربوط به حالت‌هایی از گاز است که دما ثابت بماند. می‌دانیم هر تغییر حجمی سبب می‌شود که گاز انرژی دریافت کند یا از دست دهد، پس هر تغییر حجمی سبب می‌شود که دما نیز تغییر کند. اگر گاز را پس از تغییر حجم به حالتی ببریم که دما مانند قبل از تغییر باشد، تحول را هم‌دما نامند. برای آنکه تحول هم‌دما باشد، لازم است تحول به‌کندی صورت گیرد و گرما به تدریج از دستگاه گرفته یا به آن داده شود.

در تبادل بی‌دررو مجموعه گاز از نظر حرارتی عایق بوده و با خارج مبادله گرما نمی‌کند. «هرگاه گازی را به‌طور بی‌دررو متراکم کنیم، کار انجام شده صرف افزایش انرژی داخلی گاز می‌شود و به‌همین جهت دما افزایش می‌یابد.»

آزمایش نشان می‌دهد که تغییرات حجم و فشار مقدار معینی گاز در حالت بی‌دررو به‌صورت رابطه زیر است:

$$PV^\gamma = P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma = k \quad \text{مقدار ثابت}$$

در این رابطه γ نسبت گرمای ویژه گاز در فشار ثابت به گرمای ویژه گاز در حجم ثابت است. تحول یک گاز کامل را که تحت اثر تراکم یا انبساط قرار می‌گیرد می‌توان به‌صورت تابعی از دما و حجم و فشار بیان کرد. رابطه این عوامل برای گازهای کامل به‌صورت زیر است:

$$PV = nRT$$

که n معرف تعداد مولکول گرمای گاز است. اگر P را بین دو معادله بالا حذف کنیم، خواهیم داشت:

$$PV^\gamma = \text{cte}$$

$$\Rightarrow \frac{nRT}{V} V^\gamma = \text{cte} \Rightarrow TV^{\gamma-1} = \text{cte}$$

$$PV = nRT$$

و در حالتی که n مولکول گاز از دمای T_1 به T_2 برسد، خواهیم داشت:

$$T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1}$$

این مسئله‌ها را حل کنید:

۱- ۱۰ لیتر گاز را از دمای ۲۷ به ۲۷۳ درجه سانتیگراد می‌رسانیم. اگر فشارش

ثابت بماند حجمش چقدر خواهد شد؟

ج: $18/2$ لیتر

۲- یک حباب گاز وقتی از ته دریا به سطح آن می‌رسد، حجمش چهار برابر می‌شود. اگر تغییرات دما ناچیز باشد، معین کنید عمق دریا چقدر است، در صورتی که فشار در سطح دریا 76 سانتیمتر جیوه باشد.

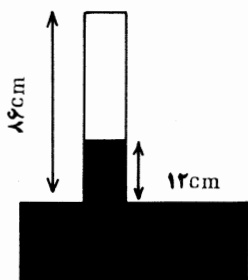
ج: 31 متر

۳- در 400 لیتر هوای صفردرجه سانتیگراد و تحت فشار 76 سانتیمتر جیوه مقدار $5/1293$ گرم گاز کربنیک موجود است. فشار این گاز در هوای نامبرده چقدر است؟ جرم مولکولی گاز کربنیک 44 گرم است.

ج: $0/0125$

۴- دمای مقدار معینی از یک گاز 27°C و فشارش 2 اتمسفر است. برای آنکه فشار و حجمش دوبرابر شود، دمای باید چند درجه کلوین افزایش یابد؟

ج: 900°K



۵- لوله‌ای به شکل استوانه که یک طرف آن مسدود است، واژگون در ظرف جیوه‌ای مطابق شکل قرار گرفته است. ارتفاع لوله از سطح آزاد جیوه 86 سانتیمتر است. در دمای 7°C ، جیوه 12 سانتیمتر در لوله بالا رفته است. حساب کنید اگر دما به 47°C برسد، ارتفاع جیوه در لوله چقدر می‌شود. فشار هوای خارج 76 سانتیمتر جیوه است.

شکل ۲۱

ج: 8 سانتیمتر

۶- در فضای بالای فشارسنج جیوه‌ای مقداری هوا وارد می‌کنیم. طول ستون جیوه برابر 40 سانتیمتر می‌شود. اگر فشارسنج را از دمای 20°C (دمای قبلی) به 40°C برسانیم، طول ستون جیوه چقدر خواهد شد؟ فشار هوا 76 سانتیمتر جیوه و طول ستون هوا در حالت اول 45 سانتیمتر است و از انبساط جیوه صرف‌نظر می‌شود.

ج: 35 سانتیمتر

۷- بالونی که حجم درون آن 1500 مترمکعب است از گاز نئیدروژن پر شده است. جدار بالون که جرمش 54 کیلوگرم و ضخامت آن قابل اغماض است، دارای دریچه

خودکاری است که هنگام کاهش فشار خارج، باز شده و سبب خروج مقداری گاز از آن می‌گردد و به این ترتیب فشار داخل و خارج بالون همیشه برابر است. بالون پس از صعود در ارتفاع معینی ساکن می‌شود. در این موقع دما در خارج و داخل بالون صفر درجه است. فشار هوا را در این ارتفاع برحسب اتمسفر حساب کنید. جرم ویژه هوا و تیدروژن در شرایط متعارفی به ترتیب $۱/۲۹$ و $۰/۰۹$ کیلوگرم بر متر مکعب است.

ج: $۰/۰۳$ اتمسفر

۸- بالونی به حجم ثابت ۲۰ لیتر محتوی هواست و با شیری به خارج مربوط می‌شود.

الف- شیر را می‌بندیم و هوای داخل ظرف را به دمای صفر و فشار ۱۱۴ سانتیمتر جیوه می‌رسانیم. جرم هوای موجود در ظرف چقدر است؟

ج: $۳۹g$

ب - در این حالت بالون را گرم می‌کنیم و به دمای ۲۰۰ درجه سانتیگراد می‌رسانیم فشار هوای داخل بالون چقدر می‌شود؟

ج: $۱۹۷/۵cmHg$

ج - دستگاه را در دمای $۲۰۰^{\circ}C$ ثابت نگاه می‌داریم و شیر را باز می‌کنیم. جرم هوایی که در ظرف باقی می‌ماند چقدر است؟

ج: $۸/۴g$

د - شیر را بسته و دمای بالون را به صفر می‌رسانیم، فشار هوای داخل بالون چقدر می‌شود؟

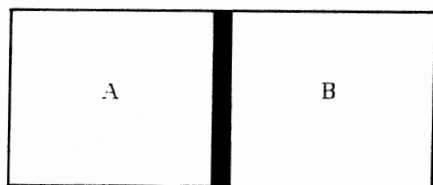
ج: $۱۴cmHg$

فشار هوای خارج ۷۶ سانتیمتر جیوه و هر لیتر هوا در شرایط متعارفی $۱/۳$ گرم جرم دارد.

۹- ظرف گازی به حجم ۵۰ لیتر از اکسیژن پر شده است. فشار اکسیژن در دمای $۲۷^{\circ}C$ برابر ۵ اتمسفر است. برای آنکه در دمای $۲۳^{\circ}C$ فشار اکسیژن برابر ۴ اتمسفر شود، چه جرمی از گاز باید از ظرف خارج شود؟

ج: ۶۰ گرم

۱۰- استوانه‌ای محتوی هوای صفر درجه سانتیگراد به وسیله پیستونی مطابق



شکل ۲۲

شکل به دو قسمت مساوی A و B تقسیم شده است. پیستون و جدار استوانه، عایق کامل فرض می‌شوند. معین کنید اگر دمای قسمت A را به 23°C و دمای قسمت B را به 27°C برسانیم، نسبت حجم دو قسمت B و A چه عددی می‌شود؟

ج: $\frac{6}{5}$

۱۱- در فضای بالای يك فشارسنج (لوله تورپیچلی) مقداری هوای خشک وارد کرده‌اند. ارتفاع ستون جیوه 751 میلیمتر است. لوله را به اندازه‌ای در جیوه فرو می‌بریم که حجم هوای بالای آن $\frac{1}{5}$ حجم اولیه شود. در این حالت ارتفاع ستون جیوه 740 میلیمتر می‌شود. فشار هوای بیرون در محل آزمایش چقدر است؟

ج: $753/75\text{mmHg}$

۱۲- در محلی که فشار هوا 75 سانتیمتر جیوه است، استوانه‌ای به ارتفاع 80 سانتیمتر را که پراز هواست وارونه کرده و تا عمق 15 سانتیمتر در جیوه فرو می‌کنیم. تعیین کنید جیوه در استوانه چقدر بالا خواهد آمد؟

ج: $7/4\text{cm}$

۱۳- حجم يك کپسول اکسیژن 40 لیتر است و فشارسنجی که به سر آن نصب است فشار گاز درون کپسول را 16 کیلوگرم بر سانتیمتر مربع نشان می‌دهد. شیر کپسول را باز می‌کنیم تا فشار به 12 کیلوگرم بر سانتیمتر مربع برسد. حجم اکسیژنی که خارج می‌شود در فشار يك جو پیدا کنید.

ج: 160 لیتر

۱۴- لوله باریکی به طول 20 سانتیمتر را که از يك طرف محدود است. اختیار کرده، به طور قائم نگاه می‌داریم. به وسیله يك قطره کوچک جیوه لوله به دو قسمت مساوی تقسیم می‌شود و درجه حرارت دستگاه صفر است. طرف باز لوله را می‌بندیم و قسمت پایین لوله را در آب 27 درجه سانتیگراد می‌گذاریم. پس از برقراری تعادل حرارتی جیوه چند سانتیمتر به طرف بالا حرکت می‌کند؟ با فرض آنکه دمای قسمت بالای جیوه همواره صفر درجه بماند و از وزن و فشار جیوه صرف نظر شود.

ج: $0/4\text{cm}$

- ۱۵- استوانه‌ای است پرازئیدروژن به فشار يك اتمسفر و درجه حرارت 27°C . این استوانه به وسیله پیستونی به دو قسمت A و B تقسیم شده است. حجم قسمت A برابر $\frac{1}{3}$ حجم قسمت B است. قسمت A را آن قدر گرم می‌کنیم که پیستون درست در وسط استوانه قرار گیرد. درجه حرارت قسمت B همواره ثابت و برابر 27°C است. درجه حرارت قسمت A را تعیین کنید در صورتی که از انبساط استوانه در اثر حرارت صرف نظر شود.
- ج: 627°C

تغییر حالت ماده

هدفهای رفتاری

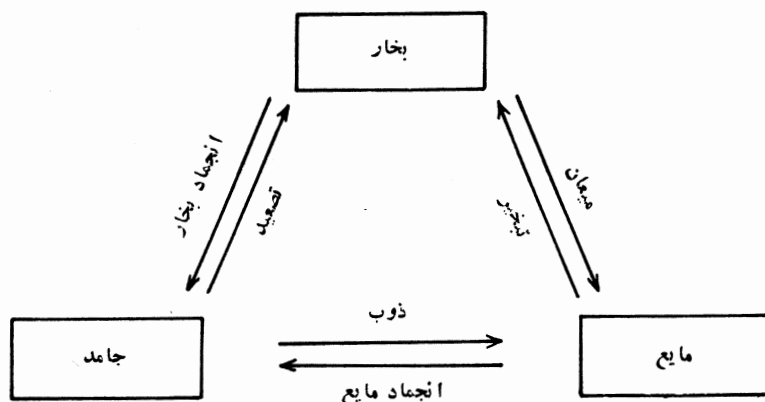
انتظار می‌رود خواننده با مطالعه این بخش بتواند:

- ۱- اصطلاحات ذوب، انجماد، تبخیر، میعان، تصعید، گرمای نهان ذوب، گرمای نهان انجماد، نقطه جوش، رطوبت نسبی، رطوبت مطلق و نقطه سه گانه آب را تعریف کند.
- ۲- انواع تغییر حالت را نام برد.
- ۳- قوانین ذوب ساده را بیان کند.
- ۴- انجماد و قوانین آن را شرح دهد.
- ۵- مقدار گرمای يك جسم را با توجه به تغییر حالت آن محاسبه کند.
- ۶- تبخیر و انواع آن را شرح دهد.
- ۷- نمودار تغییر دما-زمان را برای تغییر حالت يك ماده مانند یخ و نفتالین تجزیه و تحلیل کند.
- ۸- مسائل آخر بخش را به درستی تجزیه و تحلیل کند.

انواع تغییر حالت

در نخستین بخش این کتاب دربارهٔ ماده و حالت‌های مختلف آن بحث شد و ضمناً بیان شد که گرما می‌تواند ماده را از يك حالت به حالت دیگر تبدیل کند. در این قسمت ابتدا انواع تغییر حالت را معرفی می‌کنیم و سپس به بررسی هریک از انواع تغییر حالت و قوانینی که

حاکم بر تغییر و تبدیل آنهاست، می‌پردازیم.
در شکل ۲۳ انواع تغییر حالت نشان داده شده است.



شکل ۲۳

در اینجا هر یک از این انواع تغییر حالت بحث و بررسی می‌شود:

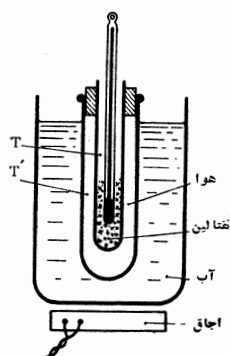
ذوب

تبدیل جسم جامد به مایع را ذوب گویند. ذوب بر دو نوع است: ذوب ساده و ذوب خمیری در ذوب ساده، جسم جامد در دمای معینی از حالت جامد به مایع تبدیل می‌شود. نفتالین، پارافین، سرب و یخ دارای ذوب ساده هستند. در ذوب خمیری جسم جامد پس از گرفتن گرمای لازم نرم و نرمتر می‌شود تا آنکه کاملاً به مایع تبدیل شود. در این حالت در اثر گرما، دمای جسم دائماً افزایش می‌یابد و خود فاصلی میان حالت جامد و مایع، موجود نیست. ذوب بسیاری از فلزات و نیز شیشه و موم و چریبها از نوع ذوب خمیری است.

تحقیق در ذوب ساده- برای مطالعه در چگونگی ذوب اجسام، معمولاً یکی از اجسامی را که دارای ذوب ساده هستند انتخاب می‌کنند و به تدریج آن را گرم می‌کنند و تغییرات آن را مشاهده و اندازه‌گیری و ثبت می‌نمایند.

در اینجا برای تحقیق در مورد ذوب اجسام، نفتالین را انتخاب می‌کنیم و آزمایش و اندازه‌گیریهای زیر را بر روی آن انجام می‌دهیم:

آزمایش- مقداری نفتالین را در یک لوله شیشه‌ای می‌ریزیم و برای آنکه همه قسمتهای



شکل ۲۴

آن به آرامی و همزمان گرم شود، این لوله را در یک ظرف بزرگتر آب^۱ مطابق شکل ۲۴ قرار می‌دهیم. در ظرف نفتالین یک دماسنج قرار دارد که دمای نفتالین را در هر لحظه نشان می‌دهد. فرض کنید مبدأ زمان را لحظه‌ای در نظر بگیریم که منبع حرارتی را به کار انداخته‌ایم. در این صورت نفتالین به تدریج گرم می‌شود و دمای آن افزایش می‌یابد. می‌توان پس از شروع کار هر دو دقیقه، یک بار دمای نفتالین را اندازه گرفت و آن را در جدولی ثبت کرد. در یک آزمایش تغییرات دما و زمان مطابق جدول صفحه بعد اندازه‌گیری و ثبت شده است. نمودار تغییرات دما - زمان را نیز در این آزمایش مطابق شکل ۲۵ رسم کرده‌ایم.

تجزیه و تحلیل نمودار - به‌طوری که دیده می‌شود، نمودار تغییرات دما - زمان شامل چهار قسمت زیر است:

الف - AB - در این قسمت نفتالین جامد گرما می‌گیرد و دمای آن به تدریج افزایش می‌یابد.

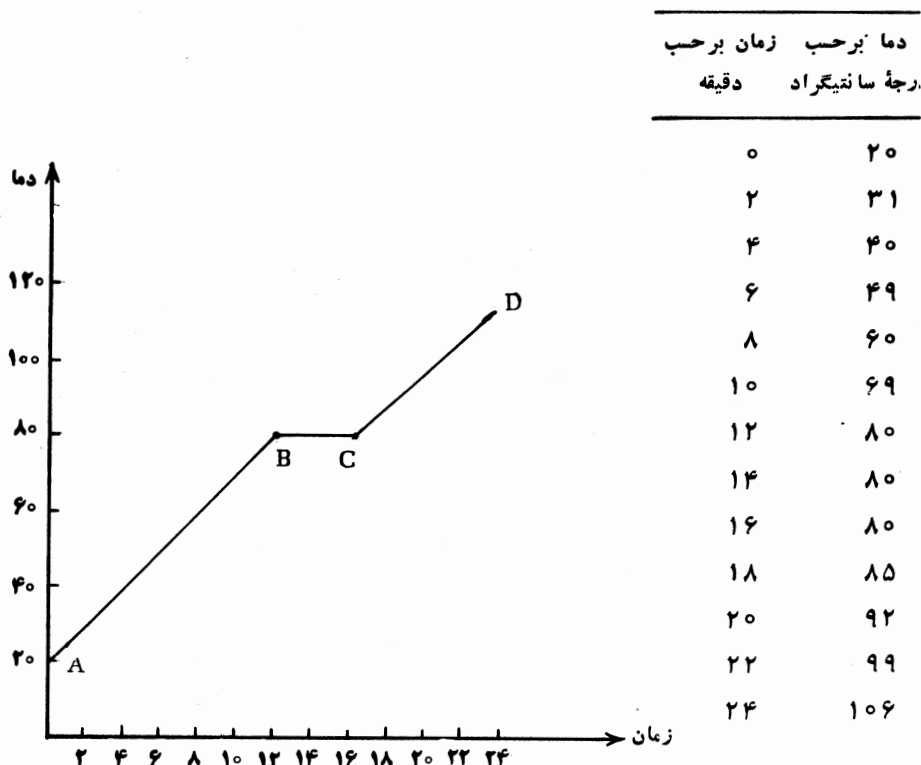
ب - B - پس از گذشت ۱۲ دقیقه اولین قطره مایع نفتالین ظاهر می‌شود. در این لحظه دمای مجموعه ظرف و نفتالین ۸۰ درجه سانتیگراد است.

ج - BC - در این مدت دما همان ۸۰ درجه می‌ماند و از جرم نفتالین جامد به تدریج کسته و بر حجم مایع آن افزوده می‌شود.

د - CD - در نقطه C همه جامد به مایع تبدیل می‌شود و از آن پس دمای نفتالین مایع افزایش می‌یابد.

اگر منبع حرارتی را خاموش کنیم و تغییرات دما را بر حسب زمان مشاهده و ثبت کنیم، ملاحظه می‌شود که نفتالین مایع به تدریج سرد می‌شود تا آنکه پس از رسیدن به ۸۰ درجه، اولین آثار نفتالین جامد ظاهر می‌شود و

۱ - برای آنکه موادی را به تدریج و منظم و بدون مجاورت مستقیم منبع حرارتی، گرما دهند، از دستگاهی مطابق شکل ۲۴ که به حمام ماری (Bain - Marie) موسوم است، استفاده می‌کنند.



شکل ۲۵

از این پس از جرم نفتالین مایع کاسته می‌شود و بر جرم جامد آن افزوده می‌شود ولی دما همان ۸۰ درجه ثابت می‌ماند تا همه نفتالین جامد شود. پس از آنکه نفتالین منجمد شد، دمای آن کاهش می‌یابد تا سرانجام به دمای محیط می‌رسد.

قوانین ذوب ساده- از انجام آزمایش بر روی موادی که ذوب ساده دارند، نتایج کلی زیر به دست آمده است:

الف- هر جسم جامد و خالص در فشار ثابت، در دمای معینی شروع به ذوب شدن می‌کند و تا زمانی که همه جسم به مایع تبدیل نشده است این دما ثابت می‌ماند. این دما را نقطه ذوب آن جسم گویند.

ب - اندازه جرم ذوب شده متناسب با مقدار گرمای دریافت شده است.

ج - عمل ذوب، گرماگیر است.

- د - عمل ذوب با تغییر حجم همراه است.
- ه - افزایش فشار، سبب بالارفتن نقطه ذوب می شود (به جز یخ که افزایش هر ۱۰۰ جو فشار نقطه ذوب آن را ۰/۰۷ درجه پایین می آورد).
- نکته-** بعضی از مواد مانند یخ در اثر افزایش دما مستقیماً از حالت جامد به بخار تبدیل می شوند که این عمل تصعید نامیده می شود.

انجماد و قوانین آن

اگر مایعی را به تدریج سرد کنیم، سرعت مولکولهای آن کمتر می شود و موقعی که به دمای معینی برسد (نقطه انجماد)، انرژی جنبشی بعضی از مولکولها آن قدر کم می شود که نیروهای جاذبه مولکولی می توانند آنها را در یک شبکه بلوری نگاه دارند. اگر به سرد کردن مایع ادامه دهیم، به تدریج از حجم مایع کاسته و بر حجم بلورهای ایجاد شده، افزوده می شود تا آنکه همه مایع به جامد تبدیل شود. از آزمایشهایی که درباره انجماد مایعات صورت گرفته، نتایج زیر به دست آمده است:

الف - هر مایع خالص، در فشار ثابت، در دمای معینی شروع به انجماد می کند و تا زمانی که همه مایع به جامد تبدیل نشده است، این دما ثابت می ماند.

ب - عمل انجماد گرمازا است.

ج - عمل انجماد با تغییر حجم همراه است.

د - افزایش فشار سبب بالارفتن نقطه انجماد می شود (به غیر از یخ).

نکته- برای یک ماده مشخص، تحت فشار ثابت، نقطه ذوب و نقطه انجماد برابر است.

گرمای نهان ذوب و گرمای نهان انجماد- به طوری که گفتیم عمل ذوب گرما گیر و عمل انجماد، گرمازا است. «مقدار گرمایی که واحد جرم یک جسم جامد معین می گیرد تا بدون آنکه دمایش تغییر کند، در نقطه ذوب خود از حالت جامد به مایع تبدیل شود، گرمای نهان ذوب (گرمای ذوب) نامیده می شود.» گرمای نهان ذوب را به L_F نشان می دهند. همین تعریف برای گرمای نهان انجماد (L_F) صدق می کند ولی گرمای نهان انجماد را ماده از دست می دهد تا از حالت مایع به جامد تبدیل شود. در جدولهای آخر کتاب نقطه ذوب و گرمای نهان ذوب چند جسم ثبت شده است.

نکته- مقدار گرمایی که m واحد از یک جسم جامد می گیرد تا بدون تغییر دما از جامد به مایع تبدیل شود (یا مایع از دست می دهد تا به جامد تبدیل شود) از این رابطه به دست می آید:

$$Q = mL_F$$

مثال ۱- گرماسنجی با يك به همزن دارای جرم $۱۰۷/۵۸$ گرم و ظرفیت گرمایی ویژه متوسطی برابر $۰/۰۹۵$ کالری بر گرم درجه سانتیگراد است. در این گرماسنج $۵۶/۳۶$ گرم آب می ریزیم و پس از آنکه دمای آب و گرماسنج را اندازه گرفتیم که برابر $۳۹/۵^{\circ}\text{C}$ بود، مقدار $۶/۰۴$ گرم یخ در آن می اندازیم و آن را به آرامی به هم می زنیم. اگر دمای تعادل پس از ذوب یخ، برابر $۲۹/۶^{\circ}\text{C}$ شود، معین کنید گرمای نهان ذوب یخ را.

حل: در این مثال گرمای نهان ذوب یخ که آن را با L_F نشان می دهیم، مجهول است و در برابر معلومات زیر موجود است:

$$m_1 = 107/58 \quad \text{جرم گرما سنج و به هم زن}$$

$$M = 56/36 \quad \text{جرم آب}$$

$$\theta_1 = 39/5^{\circ}\text{C} \quad \text{دمای اولیه گرماسنج}$$

$$\theta = 29/6^{\circ}\text{C} \quad \text{دمای تعادل مخلوط}$$

$$m = 6/04 \text{ g} \quad \text{جرم یخ}$$

ظرفیت گرمایی ویژه ماده ای که گرماسنج از آن ساخته شده است.

$$C = 0/095 \text{ cal/g } ^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta\theta = 29/6 - 0 = 29/6^{\circ}\text{C} \quad \text{افزایش دمای یخ ذوب شده}$$

$$\Delta\theta' = 39/5 - 29/6 = 9/9^{\circ}\text{C}$$

کاهش دمای گرماسنج و آب درون آن

$$q_1 = mL_F = 6/04 L_F \quad \text{گرمایی که برای ذوب یخ لازم است}$$

$$q_2 = mC\Delta\theta = 6/04 \times 1 \times 29/6 = 178/784$$

گرمایی که برای افزایش دمای یخ ذوب شده لازم است

$$q_3 = m_1 C_1 \Delta\theta' = 107/56 \times 0/095 \times 9/9 = 101/17$$

گرمایی که گرماسنج از دست می دهد

$$q_4 = MC\Delta\theta' = 56/36 \times 1 \times 9/9 = 557/964$$

گرمایی که آب از دست می دهد

با توجه به قوانین تعادل گرمایی داریم:

گرمای گرفته شده = گرمای داده شده

پس:

$$q_1 + q_2 = q_3 + q_4$$

$$6/04 L_F + 178/784 = 101/17 + 557/964$$

$$\Rightarrow L_F = 79/528 \text{ cal/g}$$

مثال ۲- قطعه‌ای از یک فلز به جرم ۱۲ گرم و دمای 100°C را در یک گرماسنج بنسن^۱

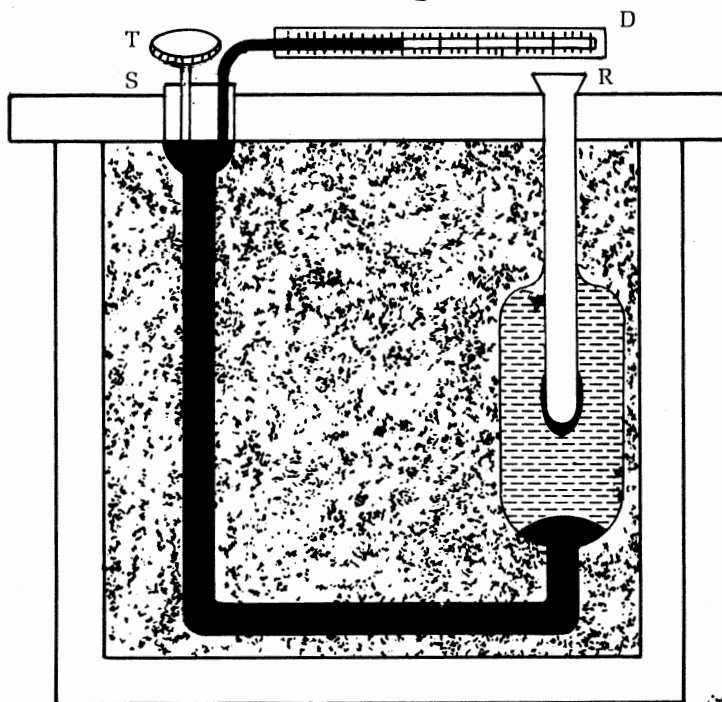
می‌اندازیم، در نتیجه حجم یخ $0/273$ سانتیمتر مکعب کاهش می‌یابد. معین

کنید ظرفیت گرمایی ویژه فلز را در صورتی که کاهش حجم یک گرم یخ $0/091$

سانتیمتر مکعب و گرمای نهان ذوب آن 80 kcal/kg یا 336 kJ/kg است.

حل : رابطه اساسی چنین است: $Q_1 = Q_2$ یعنی گرمای گرفته شده برابر گرمای داده

شده است. می‌دانیم در گرماسنج بنسن مطابق شکل ۲۶ وقتی جسم گرمی در



شکل ۲۶

گرماسنج بنسن

مخزن R قرار گیرد مقداری از یخ اطراف این لوله در اثر گرفتن گرما از جسم

گرم و رساندن آن به صفر سانتیگراد ذوب می‌شود و در اثر کاهش حجمی که

می‌یابد جیوه در لوله D به عقب برمی‌گردد. هر اندازه جرم یخ ذوب شده

بیشتر باشد، کاهش حجم بیشتر است. ظرفیت گرمایی فلز برابر است با:

$$A = m_1 C_1 = 0.012 C_1$$

گرمایی که فلز از دست می‌دهد برابر است با:

$$Q = m_1 C_1 \Delta\theta = 0.012 C_1 (100 - 0) = 1.2 C_1$$

کاهش حجم هرسانتیمتر مکعب یخ برابر 0.091 سانتیمتر مکعب است. پس در این مثال جرم یخ ذوب شده برابر است با:

$$m = \frac{0.273}{0.091} = 3 \text{ g} = 0.003 \text{ kg}$$

گرمایی که یخ می‌گیرد برابر است با:

$$Q_2 = mL_F = 0.003 \times 336000 = 1008 \text{ J}$$

پس طبق رابطه اساسی داریم:

$$Q_1 = Q_2 \Rightarrow 1.2 C_1 = 1008 \Rightarrow C_1 = 840 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$$

مثال ۳- ۶/۴ کیلوگرم یخ 10°C - درجه سانتیگراد را در یک استخر پر از آب صفر درجه سانتیگراد می‌اندازیم. در این صورت پس از رسیدن به وضع تعادل جرم یخ چقدر می‌شود؟

ظرفیت گرمایی ویژه یخ $C = 0.5 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$ و گرمای نهان ذوب یخ $L_F = 80 \text{ kcal/kg}$ است.

حل : مشخص است که وقتی یخ 10°C - درجه در مجاورت آب صفر درجه قرار گیرد، باید گرمتر شود و همچنین آب باید گرما از دست دهد تا به دمای تعادل برسند. اما وقتی آب صفر درجه گرما از دست دهد منجمد می‌شود و برحجم یخ افزوده می‌گردد تا آنکه همه یخ به دمای صفر درجه برسد. برای مشخص کردن مقدار یخ از اصول تعادل گرمایی استفاده می‌کنیم.

می‌دانیم گرمایی که یخ 10°C - درجه می‌گیرد برابر است با:

$$Q_1 = MC(\theta_2 - \theta_1) = 6.4 \times 0.5 [0 - (-10)] = 32 \text{ kcal}$$

این مقدار گرما برابر گرمایی است که آب صفر درجه از دست می‌دهد تا به یخ صفر درجه برسد. یعنی:

$$Q_1 = Q_2 \text{ و } Q_2 = mL_F$$

$$\Rightarrow 32 = 80m \Rightarrow m = \frac{32}{80} = 0.4 \text{ kg}$$

پس جرم یخ بر روی استخر برابر خواهد شد با:

$$M + m = ۶/۴ + ۰/۴ = ۶/۸ \text{ kg}$$

مثال ۴- در ظرفی به ارزش آبی ۸۰ گرم آب، ۳۲۰ گرم آب با دمای ۲۰°C موجود

است. اگر ۲۰ گرم یخ صفر درجه را در آن بیندازیم، معین کنید دمای تعادل را،

در صورتی که $\frac{1}{5}$ گرمایی که یخ می گیرد تا ذوب شود از محیط بیرون دریافت کند.

گرمای نهان ذوب یخ ۸۰ cal/g و ظرفیت گرمایی ویژه آب $۱ \text{ cal/g } ^{\circ}\text{C}$ است.

حل : مقدار گرمایی که یخ می گیرد تا ذوب شود برابر است با:

$$Q_1 = mL_F = ۲۰ \times ۸۰ = ۱۶۰۰ \text{ cal}$$

از این مقدار گرما $\frac{1}{5}$ از فضای بیرون و $\frac{4}{5}$ از ظرف و آب درون آن گرفته شده

است که مقدارش برابر است با:

$$Q'_1 = \frac{4}{5} \times ۱۶۰۰ = ۱۲۸۰ \text{ cal}$$

پس از آنکه یخ ذوب شد، به دمای تعادل می رسد. مقدار گرمای لازم برابر است با:

$$q = mC(\theta - ۰) = ۲۰ \times ۱ \times \theta = ۲۰\theta$$

پس گرمایی که یخ صفر درجه از ظرف می گیرد، برابر است با:

$$۱۲۸۰ + ۲۰\theta$$

گرمایی که ظرف از دست می دهد، برابر است با:

$$Q_2 = (M + mC)(\theta_1 - \theta) = (۳۲۰ + ۸۰)(۲۰ - \theta) = ۸۰۰۰ + ۴۰۰\theta$$

و چون گرمای داده شده با گرمای گرفته شده برابر است، پس:

$$۸۰۰۰ - ۴۰۰\theta = ۱۲۸۰ + ۲۰\theta \Rightarrow ۶۷۲۰ = ۴۲۰\theta$$

$$\Rightarrow \theta = ۱۶^{\circ}\text{C} \quad \text{دمای تعادل}$$

تبخیر

تغییر حالت ماده از مایع به بخار تبخیر نامیده می شود. پدیده تبخیر با پدیده ذوب دارای

مشخصات مشترک مهمی هستند. این مشخصات عبارتند از:

الف- هردو پدیده گرماگیرند و این گرما سبب افزایش انرژی درونی آنها می شود.
 ب - در هردو پدیده دما ثابت می ماند.

ج - هردو پدیده با تغییر حجم همراهند.
 با وجود این مشخصات مشترک، عمل ذوب در دمای مشخصی صورت می گیرد ولی تبخیر در هردمای وبه شکلهای مختلف انجام می شود. صورتهای متفاوت تبخیر عبارتند از: تبخیر در خلأ، تبخیر در مجاورت سایر گازها، تبخیر سطحی و تبخیر در اثر جوش.

تبخیر در خلأ با سرعت انجام می شود و اگر فضا نامحدود باشد، همه مایع به بخار تبدیل می شود ولی چنانچه فضا محدود باشد عمل تبخیر تا آن زمان ادامه می یابد که فضا از بخار اشباع شود.

اگر مایعی را در فضای محدود در مجاورت گازهایی قرار دهیم، این مایع به کندی تبخیر می شود، تا آنکه فضا از بخار این مایع نیز سیر شود. در اینجا به تشریح تبخیر سطحی و نیز جوش می پردازیم.

تبخیر سطحی- اگر مقداری اتر را در يك بشقاب بریزیم، ملاحظه می شود که پس از چند لحظه، اتر در ظرف ناپدید می شود. اگر به جای اتر از آب استفاده کنیم این عمل مدت بیشتری طول می کشد. در این آزمایشها مایع به صورت بخار یا گاز در فضا پراکنده شده است که این عمل تبخیر نامیده می شود.

به طوری که قبلاً نیز گفته شد، همه ذرات مایع یا جامد دارای جنبشی متوسطی هستند که به دمای مایع یا جامد بستگی دارد، ولی بعضی از این ذره ها به سبب برخورد های اتفاقی یا حرکت ارتعاشی، مقدار انرژی جنبشی بیش از حد متوسط یا کمتر از حد متوسط کسب می کنند. چنانچه ذره هایی که انرژی بیشتر از اندازه متوسط دارند، به سطح جامد یا مایع برخورد کنند، ممکن است بتوانند از سطح خارج شوند و به حالت بخار در آیند. اگر این عمل از سطح مایع صورت گیرد، آن را تبخیر و اگر از سطح جامد انجام شود آن را تصعید می نامند.

اگر مایع در ظرف سربازی قرار گیرد، عمل تبخیر به طور مداوم می تواند صورت گیرد و مقدار جرم تبخیر شده به عوامل زیر بستگی دارد:

الف- **سطح مایع-** هر اندازه سطح مایع بزرگتر باشد، جرم مایع تبخیر شده بیشتر است و برعکس.

ب - **دما-** افزایش دما سبب افزایش انرژی جنبشی متوسط مولکولها می شود و همین عمل خروج ذرات را از سطح مایع آسانتر می کند.

- ج - **فشار هوا** - هر چه فشار مؤثر بر مایع کمتر باشد، تبخیر سریعتر است و جایی که فشار ناچیز باشد (خلأ) عمل تبخیر بسیار تند یعنی آنی صورت می گیرد.
- د - **جنس مایع** - سرعت تبخیر سطحی در مایعات مختلف، تفاوت می کند. تبخیر اتر و الکل سریع است در صورتی که تبخیر نفت به کندی صورت می گیرد.
- ه - **وجود بخار از جنس مایع** - اگر در فضای اطراف يك ظرف مایع، بخاری از همان جنس مایع وجود داشته باشد، عمل تبخیر به کندی صورت می گیرد و درحالتی که مایع با بخار خود به حالت تعادل برسد، به طوری که به همان اندازه ای که از مایع بخار می شود از بخار مایع گردد، بخار را اشباع شده (سیر شده) نامند و در این حالت فشار بخار را فشار بخار اشباع شده می گویند. فشار بخار اشباع شده (فشار ماگزیم) به جنس مایع و دما بستگی دارد. فشار ماگزیم بخار آب را بین دو دمای 100°C و 250°C از فرمول تقریبی $P = \left(\frac{\theta}{100}\right)^4$ حساب می کنند. در این رابطه P بر حسب اتمسفر و θ دمای سانتیگراد است. اگر چند مایع در مجاورت فضای خالی محدود قرار گیرند، همه مایعات فضا را اشباع می کنند و فشار بخار مخلوط برابر مجموع فشارهای جزیی می شود.

$$P = p_1 + p_2 + p_3 + \dots$$

- و - **جریان هوا** - هر اندازه سرعت جریان هوا (باد) بیشتر باشد، عمل تبخیر از سطح مایع سریعتر صورت می گیرد. به طور کلی جرم مایع بخار شده در ثانیه را (m) با توجه به مطالب بالا از رابطه زیر به دست می آورند:

$$m = KA \frac{P_m - r}{P}$$

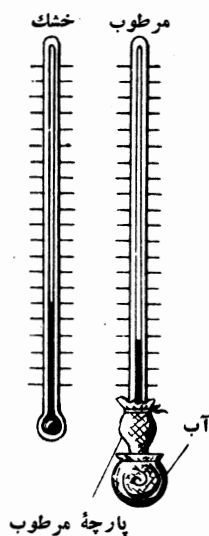
در این رابطه A سطح آزاد مایع، P_m فشار ماگزیم بخار مایع در درجه حرارت آزمایش، r فشار فعلی بخار در فضای مجاور مایع، P فشار کل مؤثر بر سطح مایع و K ضریبی است که به نوع مایع و سرعت باد بستگی دارد. برای يك مایع مشخص، وقتی باد نوزد، K کمترین مقدار خود را دارد.

موارد استعمال تبخیر سطحی - از تبخیر سطحی به صورت طبیعی و مصنوعی استفاده های عملی فراوان می شود. بعضی از آنها عبارتند از:

الف - خشك کردن لباسها.

ب - استخراج نمک از آب دریا. به این ترتیب که آب دریا را به حوضچه‌های مسدودی وارد می‌کنند و عمل تبخیر سبب می‌شود که آب بخار و نمک ته‌نشین شود.

ج - خشک کردن سریع میوه‌ها و مواد شیمیایی. به این ترتیب که برای خشک کردن میوه‌ها یا مواد خوردنی (شربت قند) و شیمیایی، معمولاً آنها را در زیر سرپوشی که به ماشین تخلیه مربوط است می‌گذارند و یک ظرف اسید سولفوریک غلیظ در کنار آن قرار می‌دهند. هنگامی که ماشین تخلیه را به کار می‌اندازند، فشار هوا پایین می‌آید و تبخیر سطحی به سرعت صورت می‌گیرد و همزمان، اسید، بخار آب را جذب می‌کند و در نتیجه پس از مدتی میوه‌ها یا مواد شیمیایی خشک می‌شوند.



شکل ۲۷- پسیکرومتر

د - پسیکرومتر- برای تعیین رطوبت نسبی^۲ هوا با استفاده از تبخیر سطحی دستگاهی به نام پسیکرومتر ساخته شده است. قسمت اصلی این دستگاه دو دماسنج یکسان است که مطابق شکل ۲۷، دور مخزن یکی از آنها را با پارچه مرطوبی می‌پچند و انتهای پارچه را در مخزن آب قرار می‌دهند. در نتیجه تبخیر، آب پارچه بخار می‌شود و گرمای لازم را از مخزن دماسنج می‌گیرد و در نتیجه دمای دماسنج سرد می‌شود و بین دو دماسنج اختلاف دمایی مشاهده می‌شود. این اختلاف دما به رطوبت نسبی هوا بستگی دارد و به کمک جدول می‌توان رطوبت نسبی هوا را مشخص کرد.

۱- Psychrometre

۲- رطوبت نسبی- مقدار بخار آب موجود در یک واحد حجم هوا (یک متر مکعب) رطوبت مطلق هوا نامیده می‌شود. رطوبت نسبی عبارت است از:

$$\text{رطوبت نسبی} = \frac{\text{رطوبت مطلق هوا}}{\text{رطوبت مطلق هوای هم‌دما در حالت سیری}} = \frac{m}{m'}$$

یا

$$\text{رطوبت نسبی} = \frac{\text{فشار بخار آب فعلی}}{\text{فشار بخار سیر شده در همان دما}} = \frac{P}{P'}$$

جوش ۱- موقعی که مایعی را گرم کنیم، ذره‌هایی از مایع در اثر گرما به صورت بخار درمی‌آیند و حبابهایی را تشکیل می‌دهند. فشار درون هر حباب برابر مجموع فشارهای مؤثر بر سطح مایع و فشار مربوط به ارتفاع مایع است. چون جرم حجمی حباب کمتر از جرم حجمی مایع است، در نتیجه نیروهای وارد از مایع حباب به طرف بالا حرکت می‌کند و در اثر عبور از لایه‌های سرد بالایی گرمای خود را ازدست می‌دهد و دوباره به شکل مایع درمی‌آید. وقتی همه قسمت‌های مایع به اندازه کافی گرم شود، حبابهای بخار به آسانی می‌توانند از سطح آزاد مایع خارج شوند. به این ترتیب مایع به سرعت به بخار تبدیل می‌شود. این عمل جوش یا غلیان نامیده می‌شود. آزمایش و اندازه‌گیری از وضع جوش مایعات دو قانون زیر را به دست داده است:

قانون اول جوش- در فشار معین، هر مایع خالص در دمای مشخصی (نقطه جوش) شروع به جوشیدن می‌کند و در طول مدت جوش، این دما ثابت است.

قانون دوم جوش- نقطه جوش هر مایع خالص در فشار معین، دمایی است که در آن دما، فشار ماگزییم بخار آن برابر فشاری است که بر سطح مایع وارد می‌شود.

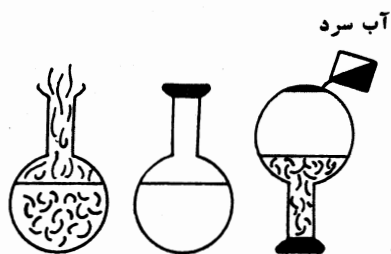
برای تشریح قانون دوم جوش می‌توان گفت که در اثر بخار شدن مایع، فشاری بر آن مایع اثر می‌کند که اندازه ماگزییم این فشار به درجه حرارت مایع بستگی دارد. در نقطه جوش مایع فشار ماگزییم بخار مایع با فشاری که از بیرون بر سطح مایع اثر می‌کند، برابر است. برای نمونه ماگزییم فشار بخار آب در دمای ۱۰۰ درجه، برابر یک جو است.

از این قانون می‌توان نتیجه گرفت که اگر فشار مؤثر بر مایعی را کاهش دهیم، آن مایع در دمایی پایین‌تر به جوش می‌آید و اگر فشار بر مایع را افزایش دهیم، مایع دیرتر به نقطه جوش می‌رسد.

برای نشان دادن نتایج بالا می‌توان از یک بالون استفاده کرد و آب داخل آن را به جوش آورد. اگر در لحظه‌ای که بالون در حال جوشیدن است، در آن را محکم ببندیم مشاهده

Boiling — ۱

۲- نقطه جوش عادی یک مایع دمایی است که فشار بخار آن مایع در آن دما درست برابر یک جو شود.



شکل ۲۸

خواهد شد که آب دیگر نمی جوشد (افزایش فشار بخار در بالون سبب بالا رفتن نقطه جوش می شود). اگر بالون را وارونه کرده، بر روی آن آب بریزیم، مشاهده خواهد شد که بخار آب پس از سرد شدن به مایع تبدیل می شود و فشار آن کاهش می یابد و آب دوباره در همان دمای قبلی به جوش می آید.

بالا رفتن نقطه جوش - قانون رانول^۱ - به طوری که گفتیم اگر مایع خالص^۲ باشد، در نقطه مشخصی به جوش می آید، در صورتی که اگر مایع خالص نباشد، دمای جوش افزایش می یابد. دائل با انجام آزمایشهای بسیار نتیجه گرفت که افزایش درجه حرارت جوش در هر محلول با غلظت آن نسبت مستقیم و با جرم مولکولی ماده حل شده، نسبت معکوس دارد. او این رابطه را بین عوامل متغیر نوشت:

$$\Delta\theta = K \frac{m}{m'} \times \frac{1}{M}$$

در این رابطه $\Delta\theta$ افزایش دمای جوش، m وزن جسم حل شده و m' وزن حلال و M جرم مولکولی جسم حل شده و K ضریب ثابت رانول است.

گرمای نهان تبخیر - «مقدار گرمایی که واحد جرم (یک کیلوگرم) یک مایع می گیرد تا بدون افزایش دما، به بخار تبدیل شود گرمای نهان تبخیر نامیده می شود.» گرمای نهان تبخیر را با L_v نشان می دهند و مشخص است که اگر m واحد از یک مایع داشته باشیم، مقدار گرمایی که برای تبخیر آن در نقطه جوش لازم است، از رابطه زیر به دست می آید:

$$Q = mL_v$$

گرمای تبخیر یک مایع، به جنس آن مایع و نیز نقطه جوش آن بستگی دارد. در جداول آخر کتاب گرمای تبخیر چند جسم در فشار یک اتمسفر ثبت شده است. گرمای تبخیر آب در فشار یک اتمسفر برابر است با:

$$L_v = 540 \frac{\text{cal}}{\text{g}} = 2260 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

با افزایش فشار، نقطه جوش آب بالا می رود و گرمای نهان تبخیر آن کاهش می یابد.

۱ - دانشمند فرانسوی Raoult

۲ - مواد خالص و محلولها اجسام همگند. جسم همگنی که فقط شامل یک ماده باشد، ماده خالص نامیده می شود. محلول، جسم همگنی است که بیش از یک ماده دارد.

دنیوا گرمای تبخیر آب را بین صفر درجه و ۲۰۰ درجه سانتیگراد، از رابطه تجربی و تقریبی زیر به دست آورد:

$$L_v = 606/5 - 0/695\theta \quad \text{یا} \quad L_v = 608 - 0/7\theta$$

که در این رابطه θ دمای جوش آب است.

مثال ۵- برای تعیین گرمای نهان تبخیر آب، از گرماسنجی به ظرفیت گرمایی ۵۶ کالری بر درجه سانتیگراد که دارای ۸۸۰ گرم آب $14/5^\circ\text{C}$ است استفاده می کنیم. اگر به وسیله یک لوله، $35/2$ گرم بخار آب صد درجه به درون گرماسنج وارد کنیم، دمای تعادل به 37°C می رسد. گرمای نهان تبخیر آب را معین کنید.

حل: می دانیم که بخار آب پس از ورود به گرماسنج، ابتدا به آب صد درجه تبدیل می شود و بعد از آن به دمای تعادل می رسد و برای این تغییر حالت و کاهش دما مقداری گرما از دست می دهد که اندازه آن از رابطه زیر به دست می آید:

$$Q_1 = q_1 + q_2 = mL_v + mC(100 - \theta) \\ = 35/2 L_v + 35/2 \times 1(100 - 37)$$

از طرفی گرماسنج و آب درون آن گرما می گیرند تا از دمای اولیه به دمای تعادل برسند. مقدار این گرما برابر است با:

$$Q_2 = q_3 + q_4 = MC(\theta - \theta_1) + m'C'(\theta - \theta_1) \\ = (MC + m'C')(\theta - \theta_1) = (880 + 56)(37 - 14/5)$$

از سوی دیگر طبق قانون تعادل گرمایی، داریم:

$$Q_1 = Q_2 \Rightarrow 35/2 L_v + 35/2 \times 63 = 936 \times 22/5 \\ \Rightarrow L_v = \frac{21560 - 2217/6}{35/2} = 535 \frac{\text{cal}}{\text{g}}$$

میعان

تبدیل گاز به مایع را میعان نامند. برای تبدیل گاز به مایع می توان از روشهای زیر استفاده کرد:

میعان از راه کاهش دما- اگر بخار آب را از لوله ای عبور دهیم و دمای آن به طریقی کاهش یابد، بخار آب به مایع تبدیل می شود. البته برای بخار که دمای آن بالاست هوای اطراف لوله، گرما گیر است. ممکن است لوله های بخار آب از مسیری بگذرند که

برروی آنها قطرات آب سرد ریخته شود.

برای ایجاد سرما و مایع کردن سایر گازها می‌توان از سرمای حاصل از مخلوط یخ و نمک، یا از تبخیر مایعات، یا از واکنش (انبساط شدید گازها) استفاده کرد. با تبخیر اتر می‌توان دمایی تا 10°C - ایجاد کرد و اگر گاز متراکم شده‌ای را یکباره منبسط کنیم (واکنش) دمای اطراف آن بسیار کاهش می‌یابد. برای مثال اگر در بطری محتوی گاز-کربنیک فشرده را، یکباره در هوای آزاد برداریم، گاز کربنیک منبسط شده، قسمتی از آن منجمد می‌شود و ایجاد یخ خشک می‌کند.

میعان بر اثر تراکم- با افزایش فشار و ایجاد تراکم، می‌توان گاز را به مایع تبدیل کرد. البته شرط مایع شدن گاز، آن است که دمای آن از درجه حرارت معینی پایین‌تر باشد. این دمای معین که برای گازهای مختلف، متفاوت است دمای بحرانی گاز نامیده می‌شود. در جدول زیر دمای بحرانی چند ماده ثبت شده است.

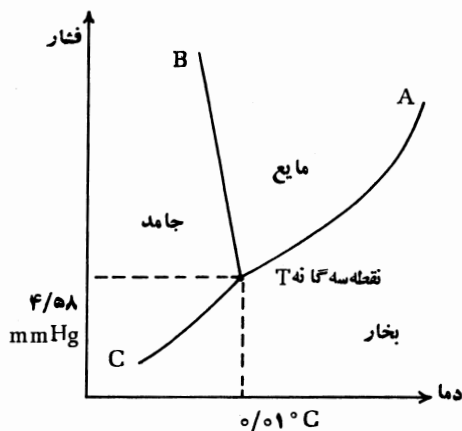
ماده	دمای بحرانی $^{\circ}\text{C}$	فشار بحرانی atm	جرم حجمی g/cm^3
آب	۳۴۷/۱۵	۲۲۲	۰/۳۰۷
الکل اتیلیک	۲۴۳/۱	۶۳/۱	۰/۲۷۶
الکل متیلیک	۲۴۰	۷۸/۷	۰/۲۷۲
نیتروژن	-۱۴۷/۱	۳۳/۵	۰/۳۱۱
اکسیژن	-۱۱۸/۸	۴۹/۷	۰/۴۳۰
تیدروژن	-۲۳۹/۹	۱۲/۸	۰/۰۳۱
هلیوم	-۲۶۷/۹	۲/۲۶	۰/۰۶۹

میعان بر اثر تراکم و کاهش دما- در این روش ابتدا گاز را سرد می‌کنند، تا دمای آن از دمای بحرانی کمتر شود و بعد از آن با افزایش فشار، گاز را به مایع تبدیل می‌کنند.

نقطه سه گانه آب

به‌طوری که قبلاً گفته شد، در فشار معینی می‌توان دو حالت مختلف ماده را کنار یکدیگر در وضع تعادل داشت. برای مثال در فشار یک جو، در دمای صفر درجه سانتیگراد یخ و

آب در حالت تعادل قرار می گیرند و اگر از دستگاه، گرما گرفته یا به آن داده نشود، حجم یخ و آب همواره ثابت می ماند. همچنین در دمای 100°C و در فشار يك جو، آب و بخار در حالت تعادل هستند.



شکل ۲۹

قبلا نیز یادآوری کردیم که نقطه ذوب و نیز نقطه جوش به فشار بستگی دارد. هراندازه فشار وارد بر آب را کاهش دهیم، نقطه ذوب آن افزایش و نقطه جوش آن کاهش می یابد و این دو نقطه که یکی معرف تعادل مایع و جامد، و دیگری معرف تعادل مایع و گاز است به یکدیگر نزدیک می شوند. اگر به کاهش فشار ادامه دهیم، این دو نقطه کاملاً بر یکدیگر

منطبق می شوند و به دمایی می رسند که در آن یخ، آب و بخار آب در حالت تعادل قرار می گیرند. یعنی اگر از بیرون گرمایی دریافت نکنند یا گرما از دست ندهند، حجم یخ، آب و بخار آب ثابت می ماند.

این نقطه را نقطه سه گانه آب می نامند و فشار آن $4/58$ میلیمتر جیوه و دمای آن $273/16$ درجه کلوین یعنی $0/01$ درجه سانتیگراد است.

این مسئله ها را حل کنید:

۱- استخری به طول ۳۰ و عرض ۱۵ و عمق $1/3$ متر، پر از آب صفر درجه است. اگر آب این استخر در اثر سرد شدن به یخ ۱۰- درجه تبدیل شود، در اثر این تغییر حالت و دما چقدر گرما از دست می دهد؟ هرسانتیمتر مکعب آب، يك گرم جرم دارد و گرمای نهان ذوب یخ 80 cal/g و ظرفیت گرمایی ویژه آن $5/5$ کالری بر گرم درجه سانتیگراد است.

$$\text{ج: } 49725 \times 10^6 \text{ cal}$$

۲- يك قطعه آهن به جرم ۲۰۰ گرم و دمای ۸۰ درجه سانتیگراد را در ظرفی که دارای ۱۰۰۰ گرم آب صفر درجه است، قرار می دهیم. حداقل جرم یخ صفر درجه ای را بیاید که اگر در ظرف آب قرار دهیم، دما همان صفر درجه باقی بماند. ظرفیت گرمایی ویژه آهن $5/112$ کالری بر گرم درجه سانتیگراد است.

$$\text{ج: } 22/4 \text{ گرم}$$

۳- مقداری بخار آب ۱۰۰ درجه را در گرماسنجی که محتوی ۹۰ گرم آب ۲۵ درجه است، وارد می‌کنیم. اگر ارزش آبی گرماسنج برابر ۱۰ گرم آب باشد، معین کنید دمای تعادل را در صورتی که در این عمل ۱۰ گرم بر جرم آب افزوده شود. گرمای نهان تبخیر آب ۵۳۶ کالری بر گرم است.

$$\text{ج: } 80/5^{\circ}\text{C}$$

۴- يك گرم بخار آب صد درجه را در گرماسنجی که محتوی ۱۰۰ گرم یخ صفر درجه است وارد می‌کنیم. چه مقدار از یخ ذوب می‌شود؟

$$\text{ج: } 8 \text{ گرم}$$

۵- چه مقدار گرما لازم است تا يك كيلوگرم یخ ۲۰ - درجه سانتیگراد را به بخار آب ۱۰۰ درجه سانتیگراد برساند؟ ظرفیت گرمایی ویژه یخ ۰/۵ کالری بر گرم درجه سانتیگراد، گرمای نهان ذوب یخ ۸۰ کالری بر گرم و گرمای نهان تبخیر آب ۵۴۰ کالری بر گرم است.

$$\text{ج: } 730000 \text{ cal}$$

۶- اجاقی به مدت ۲۰ دقیقه، مقدار معینی از يك مایع را از دمای صفر به ۱۰۰ می‌رساند. اگر این اجاق با همان میزان گرمادهی، همه آن مایع را از دمای ۱۰۰ درجه تبخیر کند، گرمای تبخیر مایع چقدر است؟ ظرفیت گرمایی ویژه مایع ۰/۵ کالری بر گرم درجه سانتیگراد است.

$$\text{ج: } L_v = 112/5 \text{ cal/g}$$

۷- ۷۱۷ گرم آب ۳۷ درجه را به چه نسبتی تقسیم کنیم تا گرمایی که يك قسمت لازم است از دست بدهد تا به یخ صفر درجه تبدیل شود، درست برابر گرمای لازم برای تبخیر قسمت دیگر باشد؟ آب در صد درجه سانتیگراد بخار می‌شود و گرمای نهان ذوب و گرمای نهان تبخیر آب به ترتیب برابرند با:

$$225/54 \times 10^4 \text{ J/kg و } 33/6 \times 10^4 \text{ J/kg}$$

$$\text{ج: } \frac{m_1}{m_2} = 5/1$$

۸- مقداری بخار آب اشباع شده به فشار يك اتمسفر، داخل استوانه‌ای به حجم ۲۹/۸۴ لیتر قرار گرفته است. مقدار ۱۰۸ گرم یخ صفر درجه را داخل استوانه می‌کنیم. درجه حرارت تعادل چقدر می‌شود؟ پس از برقراری تعادل چند گرم آب مایع در ته استوانه جمع می‌شود؟

چگالی نسبی بخار آب ۱۰۰ درجه $\frac{5}{8}$ و گرمای نهان ذوب و تبخیر آب به ترتیب $336 \times 10^3 \text{ J/kg}$ و $2268 \times 10^3 \text{ J/kg}$ است.

ج: درجه حرارت $62/18^\circ\text{C}$ و $126/65\text{g}$

۹- با استفاده از يك گرماده الكتريكي در مدت ۱۵ دقیقه، مقدار معینی آب را از دمای صفر درجه به نقطه جوش می‌رسانند. اگر با همین منبع گرمایی مدت يك ساعت و بیست دقیقه دیگر برای تبخیر آن لازم باشد، گرمای نهان تبخیر آب چه اندازه است؟

ج: 533 cal/g

۱۰- در يك ظرف بزرگ مقدار کمی آب صفر درجه قرار دارد. می‌توان به کمک يك تلمبه تخلیه قوی، با سرعت در این ظرف عمل تخلیه انجام داد. اگر تلمبه به کار افتد، قسمتی از آب تبخیر شده سبب منجمد شدن بقیه آن می‌شود. معین کنید چه نسبتی از جرم آب منجمد و چه نسبتی از آن تبخیر می‌گردد. گرمای نهان تبخیر آب در صفر درجه را 600 cal/g فرض کنید و گرمای نهان ذوب یخ 80 cal/g است.

ج: $11/8$ درصد تبخیر و $88/2$ درصد منجمد می‌شود

۱۱- گلوله سربی به جرم ۱۰ گرم، با سرعت ۳۰۰ متر بر ثانیه به صفحه فولادی برخورد می‌کند و متوقف می‌شود. اگر فرض کنیم همه گرمای حاصل صرف گرم شدن گلوله شود، معین کنید چه مقدار از آن ذوب می‌شود، در صورتی که دمای گلوله قبل از اصابت 27°C و نقطه ذوب سرب 327°C و ظرفیت گرمایی ویژه سرب $125/4 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$ و گرمای نهان ذوب آن $L_F = 26/3 \times 10^3 \text{ J/kg}$ باشد.

ج: $2/8$ گرم سرب ذوب می‌شود

۱۲- گلوله‌ای از یخ صفر درجه را از ارتفاعی، داخل مخزن پراز آبی به درجه حرارت صفر، می‌اندازیم. در اثر برخورد با مایع يك صدم وزن گلوله کم می‌شود. حداقل ارتفاعی را که باید گلوله یخی رها شود حساب کنید.

$L_F = 336000 \text{ J/kg}$ و $g = 10 \text{ m/s}^2$ و $J = 4/18 \text{ J/cal}$

ج: 336 m



انتقال گرما

هدفهای رفتاری

انتظار می‌رود خواننده با مطالعه این بخش بتواند:

- ۱- اصطلاحات رسانایی، جابه‌جایی، تابش، رسانا، نارسانا و ضریب‌رسانایی گرمایی را تعریف کند.
- ۲- روشهای انتقال گرما را توضیح و تشریح کند.
- ۳- کاربرد هر یک از روشهای انتقال گرما را نام ببرد و عملاً در موقع ضرورت به کاربرد.

راههای انتقال گرما

گرما از يك نقطه به نقطه دیگر از سه راه متفاوت منتقل می‌گردد این سه راه عبارتند از: رسانایی، جابه‌جایی و تابش.

انتقال گرما از طریق رسانایی به این صورت است که هر مولکول که دارای دامنه ارتعاش بیشتری است، انرژی ارتعاشی خود را به مولکولهای مجاور منتقل می‌کند. از این راه انرژی گرمایی مولکول به مولکول و به طور آرام از نقطه‌ای به نقطه دیگر می‌رسد، عمل رسانایی در جامدات صورت می‌گیرد.

عمل جابه‌جایی مربوط به گازها و مایعات است. این مواد در اثر گرم شدن سبک می‌شوند و به طرف بالا حرکت می‌کنند و ضمن بالارفتن، انرژی گرمایی را با خود منتقل می‌کنند و گاز یا مایعی که جای گاز یا مایع جابه‌جا شده را اشغال کند، پس از گرم شدن،

به نوبه خود جابه جا می شود و از این راه، گرما به طور مداوم منتقل می شود. انتقال گرما از راه رسانایی و جابه جایی، به کمک ذره های ماده صورت می گیرد، در صورتی که در پدیده تابش، هر ذره متحرک مقداری انرژی را به صورت موج الکترومغناطیسی (برق آهنربایی) از خود صادر می کند و این موج با سرعت بسیار زیاد به اطراف منتشر می شود و حتی در فضای خالی نیز می تواند مانند نور و با همان سرعت ($3 \times 10^8 \text{ m/s}$) حرکت کند. در این فصل این سه راه انتقال گرما شرح داده می شود.

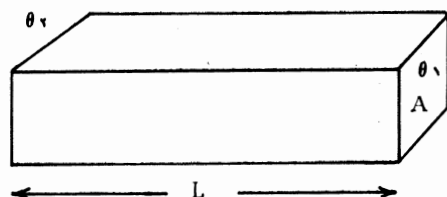
رسانایی در جامدات

اگر یک میله بلند فلزی را از یک انتها در کوره قرار دهیم، پس از مدتی مشاهده خواهیم کرد که طرف دیگر آن کم کم گرم می شود. این آزمایش نشان می دهد که گرمای کوره از راه میله، به انتهای دیگر آن منتقل می شود. اگر به جای میله فلزی با یک باریکه چوب آزمایش را تکرار کنیم، مشاهده می شود که حتی وقتی یک طرف چوب با شعله می سوزد، انتهای دیگر آن را به آسانی می توان در دست گرفت. از این آزمایش می توان نتیجه گرفت که فلزات می توانند گرما را از یک نقطه به نقطه دیگر از حجم خود منتقل سازند. این عمل، هدایت یا رسانایی گرمایی است و ماده ای که گرما را منتقل می کند، هادی یا رسانا نامیده می شود. موادی مانند چوب که گرما را از این راه منتقل نمی کنند، عایق یا نارسانا هستند.

قابلیت رسانایی گرمایی در مواد مختلف، متفاوت است. در جامدات، فلزات گرما را بهتر منتقل می کنند و بین فلزات رسانایی نقره، مس، طلا و آلومینیوم بیشتر از بقیه است. مایعات، غیر از جیوه که فلز است، رسانای خوبی نیستند و گازها نیز عایق گرما هستند. اندازه گیری ضریب رسانایی گرمایی - قطعه فلزی استوانه ای به طول L و سطح

مقطع A انتخاب می کنیم و یک انتهای آن را در منبع حرارتی به دمای θ_1 قرار می دهیم. بعد از مدتی مشاهده می شود که قطعه فلز رفته رفته گرم می شود و لایه ای که در مجاورت منبع گرم قرار گرفته است دمایش به تدریج افزایش می یابد و لایه های بعدی را گرم تر می کند، به طوری که پس از مدتی، انتهای دیگر قطعه فلزی به دمای θ_2 می رسد.

در حالتی که دمای دو انتهای فلز، θ_1 و θ_2



شکل ۳۰

باشد (حالت های ثابت)، مقداری گرما برابر Q ، از یک لایه انتهای به لایه انتهای دیگر

هدایت می‌شود که به عوامل زیر بستگی دارد:

۱- نوع فلز

۲- اختلاف دمای دولایه $(\theta_1 - \theta_2)$

۳- بزرگی سطح مقطع (A)

۴- زمان انتقال گرما (t)

۵- فاصله بین دو سطح انتهایی (L)

واضح است که مقدار Q با عوامل ۲ و ۳ و ۴ یعنی اختلاف دما، بزرگی سطح مقطع و زمان، نسبت مستقیم و با طول هادی نسبت عکس دارد. می‌توان نوشت:

$$Q \propto \frac{A(\theta_1 - \theta_2)t}{L}$$

می‌توان به جای علامت تناسب، از ضریب ثابت k استفاده کرد و رابطه فوق را به صورت تساوی درآورد:

$$Q = KA \frac{\theta_1 - \theta_2}{L} t$$

در این رابطه K را ضریب هدایت گرمایی نامند و آن عبارت است از: مقدار گرمایی که در هر ثانیه از واحد سطح (m^2) یک جسم به واحد سطح دیگرش که به فاصله یک واحد (یک متر) و به اختلاف دمای یک درجه سانتیگراد است، منتقل شود. واحد ضریب هدایت گرمایی در دستگاه بین‌المللی واحدها $\frac{J}{m \cdot s \cdot ^\circ C}$ است. معمولاً این ضریب را برحسب

$$\frac{kcal}{m \cdot h \cdot ^\circ C} \text{ یا } \frac{cal}{cm \cdot s \cdot ^\circ C}$$

اندازه‌گیری می‌کنند.

مثال ۱- یک میله آهنی به ضریب هدایت گرمایی $\frac{cal}{cm \cdot s \cdot ^\circ C}$ ۰/۲ و به سطح مقطع

۲۰۰ سانتیمتر مربع موجود است. معین کنید در مدت ۵ دقیقه چه مقدار گرما بین دو نقطه آن که به فاصله ۱۰ سانتیمتر از یکدیگر قرار دارند و اختلاف دمایشان $50^\circ C$ است منتقل می‌شود.

حل: می‌دانیم مقدار گرمایی که از مقطعی برابر A در مدت t بین دو نقطه، به فاصله L

و اختلاف دمای θ منتقل می‌شود از رابطه $Q = KA \frac{\theta}{L} t$ به دست می‌آید.

با توجه به اندازه‌هایی که در صورت مسئله آمده است، مقدار Q برابر است با:

$$Q = 0.2 \times 200 \times \frac{50}{10} \times 5 \times 60 = 60000 \text{ cal}$$

پس در هر ۵ دقیقه، ۶۰ کیلوکالری گرما از طریق هدایت به وسیله این میله منتقل می‌شود.

مثال ۲- يك طرف يك مكعب آهنی به سطح مقطع ۴ سانتیمتر مربع با بخار آب و طرف دیگرش با مقداری یخ در تماس است. معین کنید پس از ده دقیقه چه مقدار یخ ذوب می‌شود؟ ضریب هدایت گرمایی $K = 0.2 \text{ cal/cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$ و گرمای ذوب یخ 336 kJ/kg یا 80 cal/g است.

حل: داده‌های مسئله عبارتند از:

$$A = 4 \text{ cm}^2 \quad \text{هر سطح مكعب}$$

$$L = \sqrt{4} = 2 \text{ cm} \quad \text{فاصله بین دو سطح}$$

$$\theta = \theta_2 - \theta_1 = 100 - 0 = 100^\circ\text{C} \quad \text{اختلاف دما}$$

$$t = 10 \times 60 = 600 \text{ s} \quad \text{زمان}$$

$$K = 0.2 \quad \text{ضریب هدایت گرمایی}$$

مقدار گرمایی که از طریق هدایت منتقل می‌شود، برابر است با:

$$Q = KA \frac{\theta}{L} t$$

$$Q = \frac{0.2 \times 4 \times 100 \times 600}{2} = 24000 \quad \text{کالری}$$

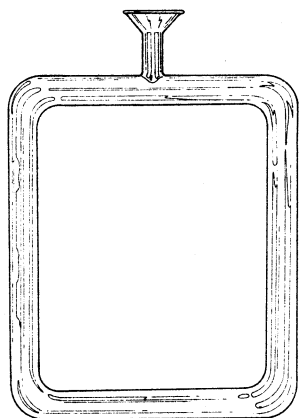
از طرف دیگر، مقدار گرمای لازم برای ذوب یخ از رابطه $Q = mL_F$ به دست می‌آید که Q گرمای لازم و L_F گرمای نهان ذوب یخ و m جرم یخ ذوب شده است. بنابراین مقدار m برابر است با:

$$m = \frac{Q}{L_F} = \frac{24000}{80} = 300 \quad \text{گرم}$$

جابه‌جایی یا همرفت

هنگامی که يك ظرف آب را به وسیله شعله چراغی گرم می‌کنیم، ملاحظه می‌شود اگرچه شعله بديك قسمت از ظرف آب نزديك است، پس از مدتی همه آب به نقطه جوش می‌رسد. علت این پدیده، آن است که آب در مکانی که گرما می‌گیرد، منبسط می‌شود، به طوری که

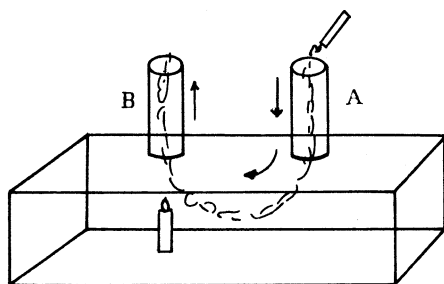
حجمش افزایش و جرم حجمیش کاهش می‌یابد. در اثر این عمل آب سبک می‌شود و به طرف بالا حرکت می‌کند و آب سرد که سنگین‌تر است جای آن را می‌گیرد و به این ترتیب این عمل ادامه می‌یابد تا آنکه همه آب به جوش آید.



شکل ۳۱- دستگاه آزمایش پدیده جابه‌جایی در مایعات

این عمل که در آن انتقال گرما از راه انتقال مولکولها صورت می‌گیرد، همرفت یا جابه‌جایی نامیده می‌شود. برای مشاهده انتقال مولکولهای آب از ابزاری مطابق شکل ۳۱ استفاده می‌شود. چنانچه پس از پر کردن آن از آب، یک قطره جوهر در آن وارد کنیم و یک بخش قائم ظرف را حرارت دهیم، متوجه بالا رفتن آب و جابه‌جایی مولکولها خواهیم شد. باید توجه داشت که جابه‌جایی، در موادی صورت می‌گیرد که مولکولهای آنها بتوانند به آسانی جابه‌جا شوند. اگر نیروهای پیوستگی و چسبندگی مانع از انتقال مولکولها شوند، عمل جابه‌جایی صورت نمی‌گیرد. از این رو انتقال گرما به روش جابه‌جایی فقط در مایعات و گازها می‌تواند صورت گیرد.

برای مشاهده جابه‌جایی در گازها، آزمایشهای متعددی می‌توان انجام داد.



شکل ۳۲- جابه‌جایی در گازها

یکی از این آزمایشهای ساده در شکل ۳۲ نشان داده شده است. این دستگاه از یک جعبه تشکیل شده است که بر سطح بالایی آن دو لوله شیشه‌ای قرار دارد. زیر یکی از دو لوله شمعی روشن است و در بالای لوله دیگر یک جسم دود دهنده، مانند یک نخ سیگار و یا یک تکه کاغذ در حال سوختن قرار

دارد. آزمایش نشان می‌دهد که وقتی شمع روشن است دود از لوله A پایین و از لوله B بالا می‌رود.

کاربرد پدیده جابه جایی

عمل جابه جایی برای بیان علت بسیاری از پدیده های طبیعی مانند باد و جریانهای دریایی به کار می رود و از سوی دیگر در بسیاری از دستگاههای صنعتی و خانگی از این پدیده استفاده می شود. برای مثال دستگاه تهویه مطبوع، حرارت مرکزی، دودکش کارخانه ها و لامپهای گازی براساس پدیده جابه جایی کار می کنند.

تابش

منبع اصلی انرژی زمین خورشید است. دمای خورشید بسیار بالاست و انرژی آن به صورت پرتوهایی از سطحش خارج می شود و پس از عبور از فضای خالی قسمتی از آن به زمین می رسد. این پرتوها دارای اثرهای حرارتی و شیمیایی هستند و بخشی از آنها نیز بر روی سلولهای بینایی چشم اثر می کنند و سبب دیدن اشیاء می شود. انتقال انرژی به صورت این پرتوها را تابش می نامند. تابش منحصر به خورشید نیست، هر جسمی که دمای آن بالاتر از صفر مطلق باشد، از خود امواجی تابش می کند، اما هر اندازه دمای جسم بالاتر باشد، مقدار انرژی که تابش می کند بیشتر و طول موجی که انرژی وابسته به آن ماکزیمم باشد، کوتاهتر است^۱. پرتوهایی که اجسام گرم از خود تابش می کنند، از جنس پرتوهای نور (امواج الکترومagnetیک) است و با سرعت $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ در خلا^۲ و تقریباً با همین سرعت در هوای اطراف زمین حرکت می کنند این پرتوها مانند نور، باز تابش و پلاریزه می شوند و شکست می یابند و همچنین پدیده های تداخل و تفرق را با آنها می توان مشاهده کرد.

مشخصات پرتوهای حرارتی - پرتوهای حرارتی از جنس پرتوهای نور هستند و همه مشخصات آنها را دارند، جز آنکه این پرتوها روی چشم اثر نمی گذارند. اکنون می دانیم که پرتوهای گاما، رونتگن (ایکس)، بالای بنفش، نوری، زیر قرمز، گرمایی و بی سیم از جنس امواج الکترومagnetیک می باشند و تفاوت اساسی آنها، در اندازه طول موجشان می باشد.

بعضی از مشخصات پرتوهای حرارتی عبارتند از:

الف - طول موج پرتوهای گرمایی بین $8 \times 10^{-5} \text{ cm}$ تا 10^{-2} cm است.

۱ - قانون ویلهلم وین - اثر گرما در طیف اجسام - ماکزیمم انرژی تابشی يك جسم گرم با افزایش دما، به طرف طول موجهای کوتاهتر منتقل می شود. بیان ریاضی این قانون مطابق رابطه زیر است: $\lambda_{\text{max}} \times T = C$. در این رابطه T دمای مطلق، λ_{max} طول موج مربوط به تشعشع با ماکزیمم انرژی و $C = 2/897 \times 10^{-2} \text{ m}^\circ \text{K}$ است.

ب - پرتوهای گرمایی مانند نور، در يك محیط شفاف يكسان، به خط مستقیم منتشر می شوند.

ج - پرتوهای گرمایی مانند نور، پس از برخورد به سطوح صیقلی بازتابش می شوند و قوانین انعکاس بر رفتار آنها منطبق است. آینه برای پرتوها همان اثری را دارد که بر پرتوهای نوری دارد.

د - پرتوهای گرمایی مانند نور، هرگاه از يك محیط شفاف به محیط شفاف دیگر برسند، شکسته می شوند.

ه - پرتوهای گرمایی در اثر برخورد به بعضی اجسام، جذب و به شکل انرژی گرمایی ظاهر می شوند. میزان جذب آنها به رنگ جسم و زاویه تابش نور بستگی دارد. هرچه رنگ جسم کدرتر و زاویه تابش کوچکتر باشد، میزان جذب پرتوهای حرارتی بیشتر است.

قانون استفن^۱- مقدار انرژی که اجسام در دماهای مختلف از دست می دهند، متفاوت است. استفن از طریق تجربی، مقدار کل توان تابشی را که يك جسم از دست می دهد به صورت زیر به دست آورد:

$$W = e\sigma T^4$$

در این رابطه W توان تابشی است که در دستگاه SI وات بر متر مربع است و آن عبارت از مقدار انرژی است که در يك ثانیه از سطحی برابر يك متر مربع، تابش می شود. T درجه حرارت مطلق جسم است، σ (سیگما) مقداری ثابت است که اندازه آن برابر
$$\frac{W}{m^2(^{\circ}K)^4} = 5.668 \times 10^{-8}$$
 و e ضریب گسیل است که به جنس ماده تابش کننده

بستگی دارد و بین صفر و يك تغییر می کند. برای فلزات کاملاً صیقلی، برابر صفر و برای جسم سیاه کامل، برابر يك است.

باید توجه داشت که هر جسم در محیطی به دمای T ، همان انرژی را که جذب کرده، می تواند منتشر کند. یعنی قانون جذب و تابش انرژی یکی است. جذب کننده کامل، تابش کننده کامل نیز هست (قانون کیرشهف).

چند نکته درباره رنگ و تابش

۱- لباسهای روشن در تابستان و لباسهای تیره در زمستان مناسب ترند.

- ۲- جدار مخازن و لوله‌های بخار آب را صیقلی و سفید می‌کنند تا گرمای کمتری از آنها به بیرون منتقل شود.
- ۳- ظروف آشپزخانه‌ای که روی اجاق قرار می‌گیرند، رنگ تیره دارند.
- ۴- در بخاریهای الکتریکی از فلزات صیقلی برای بازتابش نور استفاده می‌شود.
- ۵- مخزن دماسنجها را به رنگ تیره درمی‌آورند تا زودتر گرم یا سرد شوند.



اصول ترمودینامیک

هدفهای رفتاری

انتظار می‌رود خواننده با مطالعه این بخش بتواند:

- ۱- اصطلاحات معادل مکانیکی واحد گرما، بازده علمی، بازده صنعتی، بازده علمی ماکزیمم، چشمه گرم و چشمه سرد را تعریف کند.
- ۲- اصل اول ترمودینامیک را به درستی بیان و تشریح کند.
- ۳- اصل دوم ترمودینامیک را به درستی بیان و تشریح کند.
- ۴- بازده علمی و صنعتی ماشینهای حرارتی را محاسبه کند.
- ۵- اصول ساختمان ماشینهای حرارتی را بازگو کند.

انرژی گرمایی

در بخشهای گذشته گفتیم که گرما، صورتی از انرژی است که در اثر تفاوت دمای بین دو جسم می‌تواند بین آنها مبادله گردد. همچنین دانستیم که انرژی گرمایی یک ماده، مجموع انرژی پتانسیل و انرژی جنبشی مولکولهای آن ماده است. به این ترتیب مشخص می‌شود که اگر جسمی گرما بگیرد، مجموع انرژی جنبشی و پتانسیل همه مولکولهای آن افزایش می‌یابد و اگر گرما از دست بدهد، انرژی درونی آن کاهش می‌یابد. لازم به تذکر است که ذرات می‌توانند دارای حرکت نوسانی، دورانی و انتقالی باشند، از این رو انرژی جنبشی هر ذره مربوط به انتقال، دوران و نوسان آن ذره خواهد بود.

تبدیل کار به گرما

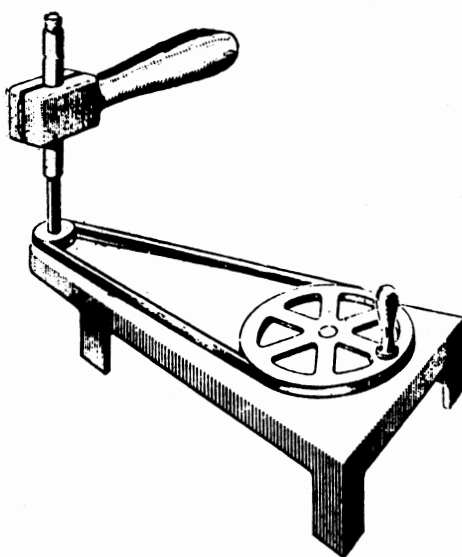
آزمایشهای روزانه نشان می‌دهد که با مصرف کردن کار می‌توان دمای جسمی را بالا برد و در نتیجه برانرژی گرمایی آن افزود. از جمله تجربه‌های روزانه در این مورد عبارتند از:

الف - مالش دو کف دست بر روی هم سبب تولید گرما می‌شود و دمای کف دست بالا می‌رود که قابل احساس است.

ب - حرکت رفت و آمد اره سبب گرم شدن اره و محل بریدگی می‌شود و همین موضوع بود که توجه رمفرد را به خود جلب کرد.

ج - وقتی اتومبیلی را به شدت ترمز کنیم، لاستیک اتومبیل و حتی آسفالت جاده گرم می‌شود و اثری از لاستیک بر جاده می‌ماند.

آزمایش فاندال - در بسیاری از آزمایشگاهها دستگاهی مطابق شکل زیر موجود



است. در این دستگاه هنگامی که دسته‌ای

را که به چرخ بزرگ متصل است

به دوران در آوریم، چرخ کوچک با

سرعت بسیار زیاد دوران خواهد کرد.

يك لوله فلزی را پر از اتر کرده،

دهانه آن را با چوب پنبه می‌بندیم و

آن را در سوراخ چرخ کوچک دستگاه

قرار می‌دهیم. لوله را به وسیله يك

انبردست چوبی می‌گیریم و چرخ بزرگ

را به دوران در می‌آوریم به طوری که

لوله فلزی بین دوشاخه انبردست

دوران کند. پس از چند دقیقه دوران

چرخ مشاهده می‌شود که اتر گرم می‌شود

و چوب پنبه‌ای که دهانه لوله را مسدود

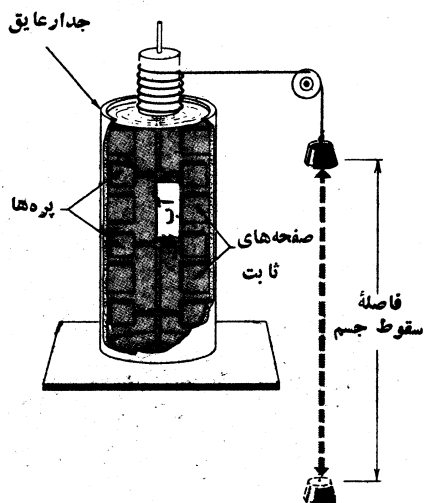
کرده است، به بیرون پرتاب می‌شود.

به جای استفاده از دستگاه بالا می‌توان لوله پر از اتر را روی يك محور موتور الکتریکی

سوار کرد و به همان نتیجه رسید.

هم ارزی کار و گرما - ژول، دانشمند انگلیسی در سال ۱۸۴۰ آزمایشهای متعددی

بر موضوع تبدیل کار به گرما و گرما به کار انجام داد. او توانست با استفاده از روشهای



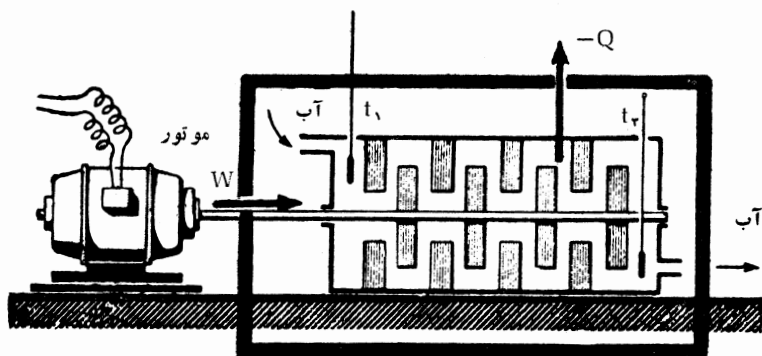
شکل ۳۳- روشی که ژول برای تعیین J به کار برد.

مخصوص، مقدار کار مصرف شده (W) و گرمای تولید شده (Q) را اندازه گیری کند و به این نتیجه برسد که نسبت $\frac{W}{Q}$ ، همیشه مقدار ثابتی است. به عبارت دیگر ژول دریافت که W همیشه معادل مقدار معینی Q است. با توجه به واحدهای متفاوتی که برای Q و W انتخاب شده بود، مشخص شد که نسبت $\frac{W}{Q}$ مقدار ثابتی است که این نسبت را با J نشان دادند و آن را معادل مکانیکی واحد گرما نامیدند. بنابراین $\frac{W}{Q} = J$ در جدول زیر اندازه J برحسب واحدهای مختلف کار و گرما مشخص شده است.

کار W	گرما Q	معادل مکانیکی واحد گرما J
ژول	ژول	۱
ژول	کالری	۴/۱۸
کیلوژول	کیلوکالری	۴/۱۸
کیلوژول	کالری	$۴/۱۸ \times ۱۰^{-۳}$
ژول	کیلوکالری	۴۱۸۰
کیلوگرم متر	کالری	۰/۴۲۶
کیلوگرم متر	کیلوکالری	۴۲۶

مثال ۱- یکی از روشهای تعیین J (معادل مکانیکی واحد گرما)، طریقه‌ای است که میکولسکو به کار برده است. در این روش از موتوری به توان P استفاده می‌شود که محور پرده‌داری را داخل یک گرماسنج به دوران درمی آورد. در اصطلاح آب بین

پرمه‌های ثابت و متحرک دمای آن افزایش می‌یابد.



شکل ۳۴

اگر این آزمایش با موتوری به توان ۵۰۰ وات انجام شود و در هر دقیقه ۳/۶ کیلوگرم آب به گرماسنج وارد شود، با چه افزایش دمایی از طرف دیگر گرماسنج خارج می‌شود؟ ظرفیت گرمایی ویژه آب $\frac{J}{kg^{\circ}C}$ ۴۲۰۰ است.

حل: مقدار کار مصرف شده برابر است با:

$$P = \frac{W}{t} \Rightarrow W = Pt = 500 \times 60 = 3 \times 10^4 J$$

گرمای تولید شده از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$Q = mc\Delta\theta = 3/6 \times 4200 \Delta\theta = 15120 \Delta\theta$$

و چون کار و گرما بر حسب ژول محاسبه می‌شوند، داریم:

$$\frac{W}{Q} = J = 1 \Rightarrow W = Q \Rightarrow 3 \times 10^4 = 15120 \Delta\theta$$

$$\Rightarrow \Delta\theta \simeq 2^{\circ}C$$

اصل اول ترمودینامیک

اگر دستگاهی با محیط خارج کار و گرما مبادله کند و از یک حالت به حالتی دیگر برسد، جمع انرژی و گرمای مبادله شده آن برابر تغییر انرژی درونی دستگاه است. یعنی:

$$W + Q = u_2 - u_1$$

در این رابطه u_1 و u_2 انرژی داخلی دستگاه، در دو حالت ابتدایی و انتهایی هستند. اگر دستگاه دوباره به حالت ابتدایی خود برگردد (تحول بسته باشد) در این صورت، داریم:

$$u_2 - u_1 = 0 \quad \text{و} \quad W + Q = 0$$

رابطه بالا را به صورت زیر که آن را اصل اول ترمودینامیک می نامند بیان می کنیم:

«هرگاه در دستگاهی فقط مبادله کار و گرما صورت گیرد و دستگاه پس از مبادله کار و گرما، انرژی اولیه خود را باز یابد (به عبارت دیگر به حالت اولیه خود برگردد)، این دستگاه اگر کار بگیرد گرما پس می دهد و اگر گرما بگیرد، کار پس می دهد و در هر دو حالت میان کار W و گرمای Q مبادله شده نسبت ثابتی برقرار است.»

اصل اول ترمودینامیک را به صورت های زیر نیز بیان کرده اند:

الف - وقتی يك سیستم تحول بسته ای را انجام می دهد:

اگر کار دریافت کند ($W > 0$)، گرما پس می دهد. ($Q < 0$).

اگر گرما دریافت کند ($Q > 0$)، کار انجام می دهند ($W < 0$).

و همیشه $W + Q = 0$ است.

ب - اگر يك دستگاه، پس از يك سلسله تحولات به حالت اول خود برگردد، انرژی داخلی آن تغییر نکرده است.

مشخص است که اگر دستگاه تحول بسته نداشته باشد، تغییر انرژی داخلی آن از رابطه زیر به دست می آید:

$$\Delta u = u_2 - u_1 = W + Q$$

نتیجه اصل اول ترمودینامیک

الف - یکی از کارهای پرتلاش مخترعان در طی چند قرن آن بود که، ماشینی اختراع کنند که بدون دریافت انرژی، بتواند کار انجام دهد، اما این اصل، این امکان را از بین برد و مشخص شد که غیرممکن است موتوری ساخته شود که دائمی باشد و بدون دریافت انرژی، پیوسته کار کند.

ب - مقدار کل انرژی داخلی هر دستگاه به وضعیت ابتدایی و انتهایی جسم مربوط است و به نوع تبدیلات بستگی ندارد.

تحول بی دررو

اگر تحولی در يك دستگاه طوری انجام گیرد که نه به خارج گرما دهد و نه از خارج گرما

بگیرد یعنی Q مساوی صفر باشد، چنین تحولی را بی‌دررو گویند. اگر دستگاهی را با ماده‌ای که عایق بسیار خوب گرماست، از مبادله گرما حفظ کنیم، تحول در چنین دستگاهی بی‌دررو می‌باشد. همچنین اگر گذشتن از یک حالت به حالت دیگر، خیلی سریع انجام گیرد، دستگاه نمی‌تواند باخارج مبادله حرارت کند و تحول انجام شده بی‌درروست. اگر اصل اول ترمودینامیک را در مورد تحول بی‌دررو به کار ببریم، داریم:

$$Q = 0 \quad \text{و} \quad u_2 - u_1 = W$$

به این ترتیب تغییر انرژی داخلی یک دستگاه، وقتی که تحول بی‌دررو انجام می‌دهد، برابر کار دریافتی به وسیله آن دستگاه است. برای مثال اگر گاز درون یک پیستون به طریق بی‌دررو متراکم شود، u_2 بزرگتر از u_1 و W مثبت است ولی اگر منبسط شود u_2 کوچکتر از u_1 و W منفی است، یعنی دستگاه به خارج کار می‌دهد. افزایش انرژی داخلی دستگاه معمولاً با بالا رفتن دما همراه است و برعکس. تراکم مخلوط هوا و بنزین در استوانه تقریباً به طریق بی‌دررو است و در مدت تراکم، سبب افزایش دما می‌شود و انبساط که آن هم به طریق بی‌دررو صورت می‌گیرد با کاهش دما همراه است.

تحول با حجم ثابت

موقعی که به گازی گرما دهیم، حجم و فشار آن می‌تواند افزایش یابد. اگر حجم گاز افزایش یابد، آن گاز کار انجام داده است ($W < 0$) و اگر حجم کاهش یابد، کار دریافت کرده است ($W > 0$) ولی اگر حجم تغییر نکند $W = 0$ خواهد بود و رابطه اصل اول ترمودینامیک به صورت زیر درمی‌آید:

$$Q = u_2 - u_1$$

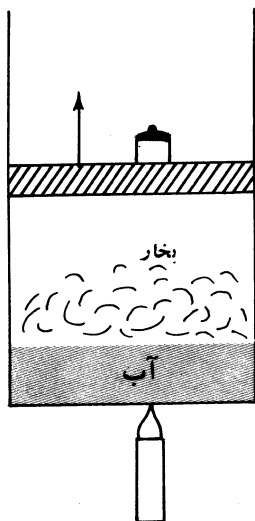
در این حالت همه گرمای داده شده به گاز، صرف بالا بردن انرژی درونی آن می‌شود.

تحول با فشار ثابت

اگر مقداری مایع به حجم V_1 در فشار ثابت در یک استوانه مطابق شکل ۳۵ به بخار تبدیل شود، حجم آن برابر V_2 خواهد شد و کار انجام شده در اثر این انبساط برابر است با:

$$\begin{aligned} W &= F \cdot d = F(d_2 - d_1) = PA(d_2 - d_1) \\ &= P(Ad_2 - Ad_1) = P(V_2 - V_1) \end{aligned}$$

در این روابط A سطح پیستون و F نیروی مؤثر بر پیستون و d تغییر مکان آن است.



از سوی دیگر برای انجام عمل تبخیر، گرما لازم است که مقدار آن از رابطه $Q = mL_v$ به دست می آید که m جرم مایع و L_v گرمای نهان تبخیر آن است. تغییر انرژی درونی دستگاه را می توان از این رابطه به دست آورد:

$$u_v - u_L = Q - W \quad \text{و} \quad u_v - u_L = mL_v - P(V_v - V_L)$$

مثال ۲- ۱/۸ کیلوگرم آب صد درجه را در فشار ثابت یک اتمسفر به بخار آب ۱۰۰ درجه تبدیل می کنیم، افزایش انرژی درونی آن چقدر است؟ در صورتی که گرمای تبخیر آب $L_v = ۲۲۶۰ \text{ kJ/kg}$ و جرم حجمی آب $\rho = ۱۰۰۰ \text{ kg/m}^3$ است و جرم حجمی بخار آب $\rho' = ۰/۸ \text{ kg/m}^3$ است. مقدار گرمایی که آب می گیرد، برابر است با:

حل:

$$Q = mL_v = ۱/۸ \times ۲۲۶۰ = ۴۰۶۸ \text{ kg}$$

در اثر تبخیر، حجم آب افزوده می شود و در اثر این انبساط مقداری کار انجام می شود که اندازه آن از این رابطه به دست می آید:

$$W = P(V_v - V_L)$$

در این رابطه V_L حجم آب و V_v حجم بخار آب و P فشار مؤثر یعنی یک اتمسفر است. اندازه این کمیتها برابر است با:

$$P = ۱ \text{ جو} = ۱/۰۱ \times ۱۰^۵ \text{ N/m}^2 \quad \text{فشار}$$

$$V_L = \frac{m}{\rho} = \frac{۱/۸}{۱۰۰۰} = ۱۸ \times ۱۰^{-۴} \text{ m}^3 \quad \text{حجم آب}$$

$$V_v = \frac{m}{\rho'} = \frac{۱/۸}{۰/۸} = ۲/۲۴ \text{ m}^3 \quad \text{حجم بخار آب}$$

و کار انجام شده برابر است با:

$$\begin{aligned} W &= ۱/۰۱ \times ۱۰^۵ (۲/۲۴ - ۱۸ \times ۱۰^{-۴}) = ۲۲۷۰۶۸ \text{ J} \\ &= ۲۲۷/۰۶۸ \text{ kJ} \end{aligned}$$

بنابراین تغییر انرژی داخلی برابر است با:

$$\Delta V = u_v - u_L = Q - W = 4068 - 227/068 =$$

$$3840/9 \text{ kJ}$$

انرژی داخلی دستگاه در این تحول افزوده شده است.

ماشینهای گرمایی^۱

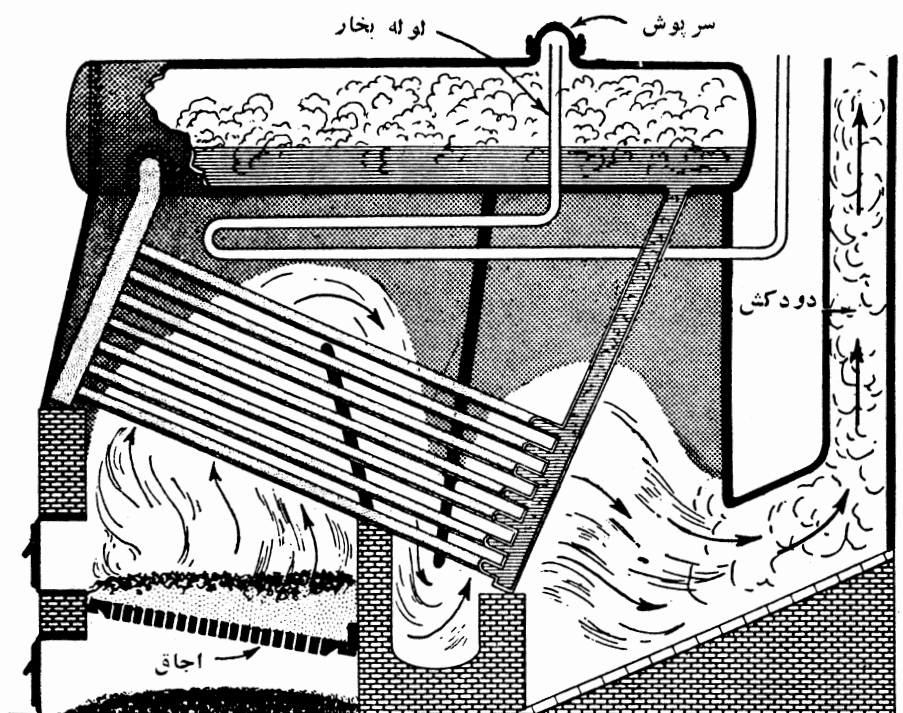
ماشینها دستگاههایی هستند که می توانند انرژیها را به یکدیگر تبدیل کنند و یا انجام کاری را تسهیل نمایند. نمونه ای از این دستگاهها، ماشینهای حرارتی هستند. هر ماشین حرارتی، دستگاهی است که انرژی گرمایی را از يك منبع انرژی دریافت و آن را به انرژی مکانیکی تبدیل کند. منبع انرژی گرمایی ماشینها، انرژی شیمیایی یا هسته ای است که حالتی از انرژی پتانسیل می باشد و به صورت انرژی جنبشی مولکولها و اتمهای جسم در می آید و دمای آن را بالا می برد.

نمونه هایی از ماشینهای گرمایی عبارتند از: ماشین بخار، موتورهای انفجاری (بنزینی)، موتورهای احتراقی (دیزلی)، جتها و موشکها. در این ماشینها انرژی گرمایی حاصل از سوختن يك ماده شیمیایی به کار مکانیکی تبدیل می شود. برای آگاهی از چگونگی کار ماشینهای گرمایی به تشریح توربین بخار می پردازیم.

توربین بخار - اساس کار توربین بخار مانند آسیاهای بادی یا آبی است. در آسیاها جریان هوا یا آب به پره هایی که به يك محور متصل هستند برخورد می کند و در اثر تغییر سرعت و اندازه حرکت ذرات هوا یا آب، نیرویی برهريك از پرها وارد می شود و حرکت پرها سبب گردش يك محور می گردد. توربین بخار از دو قسمت اساسی تشکیل شده است: دیگ و توربین.

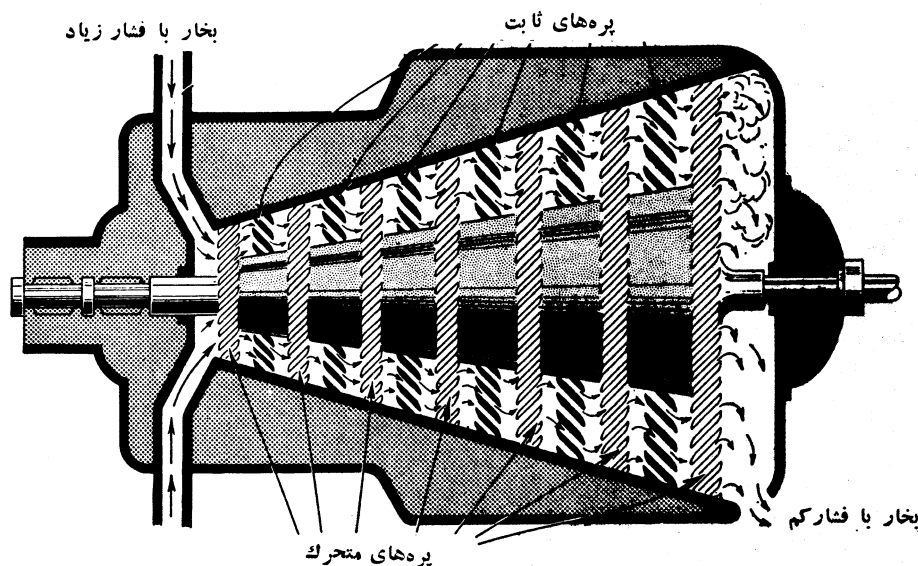
الف - دیگ - شکل ۳۶ ساختمان دستگاه دیگ بخار را نشان می دهد. در این دستگاه گرمای حاصل از سوختن زغال، نفت، چوب یا گاز جذب آب درون لوله ها می شود و سبب تبخیر آن می گردد. نظر به اینکه عمل تبخیر در ظرف سر بسته ای صورت می گیرد، فشار بخار بسیار بیشتر از فشار عادی خواهد شد. ب - توربین - شکل ۳۷ ساختمان يك توربین بخار را نشان می دهد. بخار گرم و پرفشار که به وسیله دیگ تهیه می شود توسط لوله هایی به داخل توربین هدایت می شود. در مسیر حرکت بخار در داخل توربین پره های ساکن و

۱ - برای آگاهی کامل از ساختمان و طرز کار ماشینهای گرمایی به کتاب ماشینها از این مجموعه مراجعه فرمایید.



شکل ۳۶- دیگ توربین بخار

متحرك وجود دارد، پره‌های متحرك به محور توربین و پره‌های ثابت به جدار داخلی محفوظه توربین متصل شده‌اند. شیب پره‌های ثابت و متحرك عکس یکدیگر است، به طوری که وقتی بخار از آنها می‌گذرد ضمن انبساط و تغییر جهت بر پره‌ها نیرو وارد می‌کند و سبب حرکت دورانی محور توربین می‌گردد و اگر مسیر حرکت آب را در داخل دیگ و توربین بخار تعقیب کنیم، تحولات منظمی در آن می‌بینیم. ابتدا آب در دیگ، بخار می‌شود و به دما و فشار زیاد می‌رسد (T و P). سپس بخار آب در توربین منبسط می‌گردد و کار انجام می‌دهد. هر اندازه، میزان انبساط بخار آب بیشتر باشد، کار داده شده به توربین بیشتر است و برای آنکه این انبساط بیشتر باشد، دمای آن باید بیشتر کاهش یابد. برای پایین آوردن دما، بخار آب را که از توربین گذشته است به دستگاهی به نام چگالنده وارد می‌کنند. در دستگاه چگالنده بخار آب سرد می‌شود و به دمای T_2 می‌رسد. پس از آنکه بخار آب سرد شد دوباره به مایع تبدیل شد، آن را به دیگ وارد می‌کنند و این عمل دائماً ادامه می‌یابد.



شكل ۳۷- توربین بخار

در دیگر ماشینهای گرمایی نیز، ماده‌ای که کار انجام می‌دهد (مانند آب در توربین)، برای آنکه کار انجام دهد از يك منبع با دمای بالا (T_1) گرما دریافت می‌کند و پس از انجام کار به چشمه‌ای که دمای آن پایین است (T_2) گرما می‌دهد.

اصل دوم ترمودینامیک

اصل اول ترمودینامیک هم‌ارزی کار و گرما را مشخص می‌کند ولی موضوع اصل دوم چگونگی تبدیل گرما به کار است و به عبارت دیگر شرایط انجام کار به وسیله ماشینها را شرح می‌دهد. بیان اصل دوم به صورت زیر است:

نمی‌توان ماشینی ساخت که با يك چشمه حرارتی کار کند. بلکه باید ماشین از چشمه گرم، گرما بگیرد و قسمتی از گرما را به چشمه سرد، پس دهد تا تفاوت دومتدار گرما بتواند به صورت کار ظاهر شود.

برای توضیح این اصل، قبلاً گفتیم که در ماشین بخار، چشمه گرم (دیگ) و نیز

۱- چشمه حرارتی - چشمه حرارتی در ترمودینامیک عبارت است از مجموعه‌ای که قادر باشد حرارت تولید یا جذب کند، بدون آنکه دمای آن تغییر کند.

چشمه سرد (چگالنده) موجود است و آب از چشمه گرم، گرما می گیرد و به چشمه سرد، گرما می دهد. در موتورهای اتومبیل نیز چشمه گرم داخل استوانه و چشمه سرد هوای بیرون است. به طوری که یک موتور اتومبیل نمی تواند بدون وارد کردن دود به هوای سرد کار کند.

اگر روزی می توانستیم فقط از یک چشمه گرم گرما بگیریم و آن را به کار تبدیل کنیم، موفقیت بزرگی نصیب انسان می شد، زیرا آب دریا منبع بزرگی از گرماست و می توانست برای همیشه منبع حرارتی ارزانی در اختیار بشر قرار دهد. یکی از نتایجی که از اصل دوم ترمودینامیک می توان به دست آورد آن است که گرچه کار می تواند به گرما تبدیل شود، گرما نمی تواند کاملاً به کار تبدیل گردد و این موضوع معرف یکی از اصول برگشت ناپذیری طبیعت^۱ است.

بازده صنعتی و بازده علمی ماشینها

در ماشینهای حرارتی مواد مختلف سوختنی می سوزند و در یک مدت معین مقدار گرمایی برابر Q مصرف می کنند. ماشین همه این گرما را نمی تواند به کار تبدیل کند و فقط بخش کوچکی از آن را که به W نشان می دهیم به صورت کار مفید مکانیکی درمی آورد. به موجب تعریف: «بازده صنعتی یک ماشین گرمایی عبارت است از نسبت کار گرفته شده از ماشین (W) به مقدار انرژی که از سوختن کامل زغال یا سایر سوختها حاصل شده است.»

$$R = \frac{W}{Q}$$

بازده صنعتی ماشینهای حرارتی بسیار کوچک است. برای نمونه، در ماشین بخار بخش عمده ای از گرمای حاصل از سوختن زغال، به طرق مختلف از بین می رود و فقط گرمایی برابر Q_1 صرف تبخیر آب می شود. از این گرما، بخار آب مقدار کاری برابر W انجام می دهد و بقیه آن را (Q_2) به چگالنده یا هوای بیرون می دهد.

برحسب تعریف «بازده علمی یا بازده گرمایی عبارت است از خارج قسمت کار داده شده به پیستون ماشین بخار (W_1) به مقدار انرژی گرمایی (Q_1) که صرف تبخیر آب به دمای دیگ شده است.» $R = \frac{W_1}{Q_1}$ و چون $W_1 = Q_1 - Q_2$ پس راندمان علمی برابر

۱ - نمونه هایی از دیگر پدیده های برگشت ناپذیر طبیعت عبارتند از: گرما خود به خود از جسم گرم به جسم سرد منتقل می شود و در جهت دیگر ممکن نیست. گازها از ظرفهای پر فشار به ظرفهای کم فشار حرکت می کنند و حرکت در خلاف جهت ممکن نیست. گازها با هم مخلوط می شوند ولی خود به خود جدا نمی شوند.

است با:

$$R = \frac{W_1}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \quad I$$

به طوری که ملاحظه می شود بازده علمی همیشه کوچکتر از واحد است، زیرا طبق اصل دوم ترمودینامیک Q_2 هرگز برابر صفر نخواهد شد.

بازده علمی ماکزیمم - کادو پس از مطالعه بر روی ماشینهای حرارتی به این نتیجه رسید که: «بازده علمی ماکزیمم یک ماشین گرمایی بستگی به عامل تبدیل ندارد و فقط به دماهای مطلق منبع گرم و منبع سرد بستگی دارد» و مقدار آن از رابطه زیر به دست می آید:

$$R_m = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad II$$

در این رابطه T_1 و T_2 به ترتیب عبارتند از دماهای مطلق چشمه های گرم و سرد. به طوری که ملاحظه می شود بازده علمی ماکزیمم نیز همواره کوچکتر از واحد است و چنانچه بخواهیم بازده را افزایش دهیم باید T_1 یعنی دمای چشمه گرم را بالا و T_2 یعنی دمای چشمه سرد را پایین بیاوریم.

مثال ۵- معین کنید بازده ماکزیمم ماشین بخاری را که دمای منبع گرم آن 327°C و دمای منبع سرد آن 27°C باشد.

حل: طبق رابطه II داریم:

$$\begin{aligned} R_m &= \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{273 + \theta_1 - (273 + \theta_2)}{273 + \theta_1} = \frac{\theta_1 - \theta_2}{273 + \theta_1} \\ &= \frac{327 - 27}{273 + 327} = \frac{300}{600} = 0.5 \end{aligned}$$

باید توجه داشت که بازده واقعی ماشینهای حرارتی هیچ گاه به این مقدار نمی رسد.

خود آزمایی

اکنون با توجه به آنچه در این کتاب آموخته‌اید، به پرسشهای زیر پاسخ دهید. توجه داشته باشید که در این پرسشها برای هر سؤال چهار جواب پیشنهاد شده است که فقط یکی از آنها صحیح است.

۱ - کدام گزاره در مورد گرما صحیح است؟ ✓

(الف) می‌تواند مستقل از ماده وجود داشته باشد.

(ب) همان انرژی جنبشی ذرات جسم است.

(ج) همان انرژی پتانسیل ذرات جسم است.

(د) نوعی انرژی است که مربوط به حرکت و نیروهای جاذبه بین ذرات ماده است.

۲ - نیروی جاذبه بین مولکولها در کدام يك از حالت مختلف يك ماده بیشتر است؟ ✓

(الف) جامد (ب) مایع (ج) گاز (د) حالت سه گانه

۳ - سرعت متوسط مولکولهای هر گاز را می‌توان از رابطه $\frac{m\bar{v}^2}{2} = \frac{2}{1} \times 10^{16} T$ ✓

به دست آورد که T دمای مطلق و m جرم هر ذره است. سرعت متوسط هر مولکول تیدروژن چند برابر سرعت متوسط هر مولکول اکسیژن است؟

(الف) ۴ (ب) ۲ (ج) $\frac{1}{2}$ (د) $\frac{1}{4}$

۴ - درجه دمایی دماسنج سانتیگراد و فارنهایت يك عدد را نشان می‌دهند؟ ✓

(الف) صفر مطلق (ب) نقطه جوش آب (ج) -40 (د) 40

۵ - يك دماسنج نقطه ذوب یخ را $20-$ و نقطه جوش آب را 180 درجه نشان

می‌دهد. اگر هوای اتاقی $30^\circ C$ باشد، این دماسنج چه عددی را نشان می‌دهد؟

الف) ۶۰ (ب) ۲۰ (ج) ۴۰ (د) ۱۵

۶ - يك دماسنج جيوه‌ای وقتی حساستر است كه:

الف) مخزن آن كوچكتر و لوله آن باريكتر باشد.

ب) مخزن آن بزرگتر و لوله آن كلفت‌تر باشد.

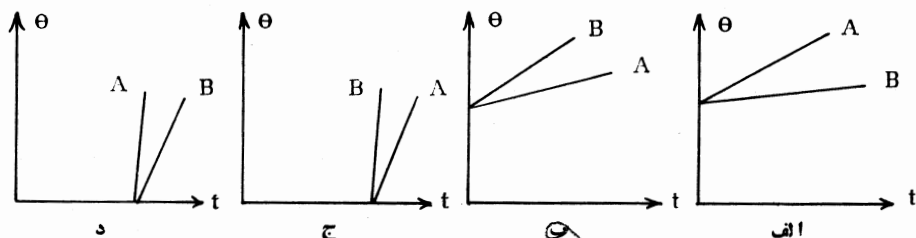
ج) مخزن آن بزرگتر و لوله آن باريكتر باشد.

د) مخزن آن كوچكتر و لوله آن كلفت‌تر باشد.

۷ - به دو گلوله هم وزن A و B كه دمای اوليه آنها يكسان است ($\theta_1 > 0$) در هر ثانيه

به مقدار مساوی گرما می دهيم. اگر ظرفيت گرمایی ويژه A دو برابر B باشد، کدام

يك از نمودارهای دما - زمان زیر معرفتغييرات دمای اين دو گلوله است؟



۸ - شرط آن كه گرما از ماده A به ماده B منتقل شود، آن است كه:

الف) $Q_A > Q_B$ (ب) $m_A C_A > m_B C_B$

ج) $\theta_A > \theta_B$ (د) $C_A > C_B$

۹ - يك كره توپر و يك كره توخالی از مس را كه در دمای 20° قطرشان برابر است،

به يك اندازه گرما می دهيم. اگر جرم كره توپر، چهار برابر كره توخالی باشد، افزايش

حجم كره توخالی به كره توپر برابر است با:

الف) ۴ (ب) ۴۳ (ج) $\frac{1}{4}$ (د) $\frac{4}{3}$

۱۰ - ضريب انبساط خطی يك فلز λ است. چه مقدار تغيير دما حاصل كند تا جرم حجمی آن

۰/۹۹ جرم حجمی آن در صفر درجه گردد؟

الف) ۰/۱۱ λ (ب) $3 \times 10^{-1} \lambda$ (ج) ۰/۹۱ λ (د) $\frac{1}{297 \lambda}$

۱۱ - ميله فلزی به طول يك متر را صد درجه سانتیگراد گرم می كنيم. اگر طولش ۰/۲۶

سانتيمتر افزايش يابد، ضريب انبساط خطی آن برابر است با:

الف) $2/6 \times 10^{-4}$ (ب) 26×10^{-4}
 ج) $2/6 \times 10^{-5}$ (د) $2/6 \times 10^{-6}$

۱۲- در حجم ثابت کدام رابطه برقرار است؟

الف) $P = P_0 \alpha \theta$ (ب) $P_0 = \frac{\Delta P}{\alpha \theta}$

ج) $\frac{PV}{T} = \frac{P_1 V_1}{T_1} + \frac{P_2 V_2}{T_2} + \dots$ (د) $P_0 = P(1 + \alpha \theta)$

۱۳- حاصل ضرب فشار در حجم گاز:

الف) دارای دیمانسیون MLT^{-2} است.

ب) همواره مقدار ثابتی است.

ج) از نوع کمیت کار است.

د) با دمای سانتیگراد نسبت مستقیم دارد.

۱۴- درجه دمایی جرم حجمی مقدار معینی گاز در فشار ثابت، نصف جرم آن گاز در صفر درجه می شود؟

الف) $273^\circ C$ (ب) $546^\circ C$ (ج) $136/5^\circ C$ (د) $273^\circ K$

۱۵- گاز کاملی به حجم V_1 و دمای T_1 ، تحت فشار P_1 قرار دارد. دما و فشار را زیاد می کنیم تا حجمش $\sqrt{V_1}$ و دمایش به $2T_1$ برسد، در این صورت فشارش برابر است با:

الف) $2P_1 \sqrt{V_1}$ (ب) $\frac{P_1 \sqrt{V_1}}{2}$ (ج) $\frac{V_1 \sqrt{P_1}}{2}$ (د) $\sqrt{2P_1 V_1}$

۱۶- مخلوطی از سه مولکول گرم از گاز A و ۴ مولکول گرم از گاز B، در ظرفی تحت فشار P قرار دارد. اگر درحالی که دمای مطلق گاز دوبرابر شده است، نصف حجم مخلوط را از ظرف خارج کنیم، فشار جدید برابر خواهد شد با:

الف) $3/5 P$ (ب) P (ج) $\frac{P}{2}$ (د) $2P$

۱۷- دو تنگه یخ انتخاب کنید. آنها را بردارید و به یکدیگر بفشارید. می بینید که دو تنگه یخ به یکدیگر می چسبند علت این پدیده چیست؟

الف) نیروهای جاذبه مولکولی سبب چسبیدن آن دو به هم می شوند.

ب) برآمدگیهای دو قطعه یخ که مجاور یکدیگرند، در نتیجه فشار، در دمایی پایین تر از صفر ذوب می شوند و پس از قطع فشار فوراً آب کمتر از صفر درجه

منجمد می شود و دوتکه یخ را به هم متصل می کند.

ج (پستی و بلندیهای دوتکه یخ درهم فرو می روند و سبب اتصال دوقطعه یخ می شوند.

د (هیچگاه دوقطعه یخ در اثر فشار به هم متصل نمی شوند.

۱۸- از يك سفینه فضایی مقدار کمی آب در فضا رها می شود. این آب:

الف) به حالت بخار در فضا پخش می شود.

ب (به شکل قطره های مایع به دور زمین می چرخد.

ج (قسمتی از آن بخار و قسمت دیگری به صورت کره منجمد از یخ دور زمین می چرخد.

د (به زمین سقوط می کند.

۱۹- دمای ذوب سرب 325°C و ظرفیت گرمایی ویژه آن در حالت جامد و مذاب تقریباً

$126\text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$ است. دمای لازم برای رساندن دمای 100 گرم سرب از 25

به 525 درجه سانتیگراد:

الف) کوچکتر از 378×10^4 است. ب) برابر 378×10^4 است.

ج (برابر 63×10^2 است. د) بزرگتر از 63×10^2 است.

۲۰- هنگامی که مایعی در فشار ثابت تبخیر شود گرما می گیرد. زیرا:

الف) گرما سبب ایجاد نیروی دافعه بین مولکولها می شود و آنها را از هم دور می سازد.

ب (گرما سبب می شود که انرژی جنبشی متوسط مولکولی مایع افزایش یابد و مولکولها از هم جدا شوند.

ج (انرژی جاذبه ای مولکولها در حالت مایع، سبب می شود که مولکولها، به طور

متراکم در کنار یکدیگر قرار گیرند. مایع از محیط اطراف گرما می گیرد تا

براین نیروی جاذبه غلبه کند و به صورت بخار در آید.

د (گرما سبب می شود که گرمای مایع بالا رود.

۲۱- يك پمپ تخلیه قوی را به محفظه شیشه ای که در آن مقداری آب قرار دارد مربوط

می کنیم به طوری که هوای داخل محفظه را با سرعت خارج کند. در این صورت:

الف) درجه حرارت آب تغییر نمی کند.

ب (در اثر کاهش فشار نقطه جوش آب بالا می رود.

ج (آب گرم می شود و شروع به جوشیدن می کند.

د (آب به جوش می آید و سرد می شود.

۲۲- جمله درست کدام است؟

الف) بخار سیر شده از قانون گازهای کامل پیروی می کند.

ب) فشار بخار سیر شده با ازدیاد دما، افزایش می یابد.

ج) اگر بخارهای سیر شده را تحت فشار قرار دهند، فشار آنها افزایش می یابد.

د) تراکم بخار در جو هیچگاه نمی تواند به حدی برسد که رطوبت نسبی برابر صد درصد شود.

۲۳- کدام جمله زیر در مورد انتقال گرما از راه جابه جایی درست است؟

الف) گرمای خورشید به روش جابه جایی به زمین می رسد.

ب) جابه جایی در مایعها و گازها صورت می گیرد.

ج) جابه جایی انتقال گرما از راه مولکول به مولکول مجاور است.

د) جابه جایی در خلا هم می تواند صورت گیرد.

۲۴- آزمایشی مطابق شکل انجام

می دهیم و مشاهده می کنیم

در حالی که آب در قسمت بالای

لوله، بخار می شود، یخ

همچنان در قسمت دیگر لوله

باقی مانده است. از این آزمایش

نتیجه می شود:

الف) برای ذوب یخ گرمایی

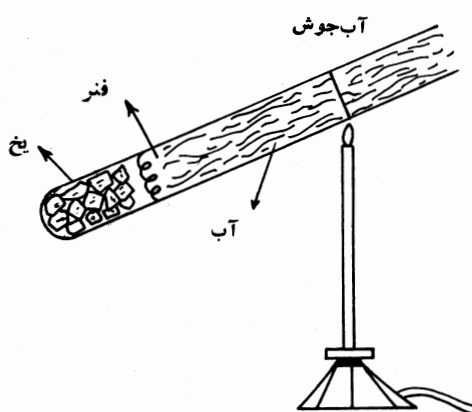
بیشتر از گرمای تبخیر

لازم است.

ب) آب نمی تواند گرما را منتقل کند.

ج) شیشه هادی خوبی برای گرما نیست.

د) آب هادی گرما نیست.



۲۵- دریچه تهویه را در قسمت بالای پنجره و رادیاتور شوفاژ را نزدیک کف اتاق قرار می دهند، زیرا:

الف) می خواهیم هوای سرد از بالا خارج شود و رادیاتور به منبع آب گرم نزدیکتر باشد.

ب) در این صورت است که رادیاتور می تواند همه اتاق را گرم کند و هوای آلوده بیرون رود.

ج) می خواهیم دریچه مزاحم رفت و آمد نشود و رادیاتور، پایه احتیاج نداشته باشد.

د (رادیاتور سنگین است و نمی‌توان آن را جای پنجره قرارداد.

۲۶- جمله درست کدام است؟

الف) تابش کننده قوی، هادی ضعیف است.

ب) جذب کننده قوی، تابش کننده قوی است.

ج) هوای اتاق از طریق تابش بخاری بیش از جابه‌جایی گرم می‌شود.

د) امواج گرمایی مانند امواج صوتی هستند.

۲۷- کدام جمله در مورد بازده علمی درست است؟

الف) به عامل تبدیل بستگی دارد.

ب) همیشه کوچکتر از واحد است.

ج) خارج قسمت انرژی گرمایی که صرف تبخیر آب شده است به کار داده شده

به پیستون ماشین بخار است.

د) برابر بازده واقعی ماشین حرارتی است.

۲۸- در تحول يك دستگاه حرارتی منفرد:

الف) دما همیشه بالا می‌رود.

ب) دما همیشه ثابت است.

ج) انرژی جنبشی ذرات دستگاه کم می‌شود.

د) انرژی داخلی همواره ثابت است.

۲۹- در تحول يك دستگاه بی‌دررو

الف) دما همواره بالا می‌رود. ب) دما همواره پایین می‌آید.

ج) گرما با بیرون مبادله نمی‌شود. د) انرژی داخلی همواره ثابت است.

۳۰- دیمانسیون معادل مکانیکی واحد گرما (J) عبارت است از:

الف) ML^2T^{-2} ب) MLT^{-2}

ج) بدون دیمانسیون است د) $ML^2T^{-2}Q^{-1}$

۳۱- يك ماشین حرارتی که بین ۵۰ و ۱۰۰ درجه سانتیگراد کار می‌کند، ۱۰۰ کیلوکالری

گرما دریافت کرده است. ماکزیمم کاری که از این ماشین می‌توان گرفت به کدام عدد

زیر نزدیکتر است؟

الف) ۱۳۴KJ ب) ۵۶KJ ج) ۲۱۰KJ د) ۱۰۵KJ

۳۲- حجم مقدار معینی از مخلوط هوا و بنزین را با سرعت نصف می‌کنیم. در این صورت

الف) دمای جسم ثابت می‌ماند. ب) تحول بی‌دررو است.

ج) انرژی درونی مخلوط ثابت می‌ماند. د) دما کاهش می‌یابد.

۳۳- توان ماشین بخاری که در هر ساعت 30 kg زغال مصرف می کند 60 اسب بخار است. اگر گرمای حاصل از سوخت یک گرم زغال 7200 کالری باشد، راندمان ماشین برابر است با:

الف) 10% ب) 15% ~~ج) 18%~~ د) 25%

۳۴- ماشین بخاری از منبع گرم که دمای آن 600° مطلق است، معادل 150 ژول گرما می گیرد و پس از انجام کار بقیه گرما را به منبع سرد می دهد که دمای آن 400° مطلق است. کار انجام شده:

الف) 150 J است ب) 100 J است

ج) 50 J است ~~د) کمتر از 50 ژول است~~

۳۵- در یک ماشین حرارتی T_1 دمای منبع گرم و T_2 دمای منبع سرد است. برای افزایش بازده ماشین باید:

الف) T_1 را کم و T_2 را زیاد کنیم ب) هر دو را به یک نسبت زیاد کنیم

ج) هر دو را به یک نسبت کم کنیم ~~د) T_1 را زیاد و T_2 را کم کنیم~~

۳۶- میزان جذب اشعه به کدام عامل زیر بستگی ندارد؟

الف) رنگ جسم ب) زاویه تابش اشعه

ج) جنس ماده تابش کننده ~~د) ضریب هدایت گرمایی~~

۳۷- اگر در هوای سرد، دمای دو قطعه هم دمای آهن و چوب را با دست مقایسه کنیم، حس خواهیم کرد که آهن سردتر است، زیرا:

الف) جرم حجمی آهن از جرم حجمی چوب بیشتر است.

~~ب) قابلیت هدایت گرمایی آهن از قابلیت هدایت گرمایی چوب بیشتر است.~~

ج) ظرفیت حرارتی آهن از ظرفیت حرارتی چوب بیشتر است.

د) ظرفیت گرمایی ویژه آهن از ظرفیت گرمایی ویژه چوب بیشتر است.

۳۸- ماهواره ای حول کره زمین در گردش است. اطراف ماهواره خلأ کامل است. کدام یک از پدیده های زیر درجه حرارت ماهواره را تغییر می دهد؟

الف) هدایت ب) جابه جایی ~~ج) تابش~~ د) رسانایی

۳۹- کدام جمله در مورد انتقال گرما از راه تابش درست است؟

~~الف) در هر دمایی ممکن است~~ ب) فقط در خلأ صورت می گیرد

ج) منحصر به خورشید است د) از نقطه گرم به نقطه سرد منتشر می شود

۴۰- مقدار معینی هوا داریم که از بخار آب اشباع نشده است. برای آن که آن را اشباع کنیم می توانیم به ترتیب زیر عمل کنیم:

الف) حجم آن را ثابت نگاه داشته، دمای آن را کم کنیم.

ب) دمای آن را ثابت نگاه داشته، فشار آن را کم کنیم.

ج) حجم آن را ثابت نگاه داشته، فشار آن را زیاد کنیم.

د) هم حجم و هم فشار آن را زیاد کنیم.

۴۱- گرمای لازم برای آن که یک مولکول گرم یخ، در فشار یک اتمسفر ذوب شود، برابر است با:

الف) 6048 cal (الف) 6048 KJ (ب) 3024 J (ج) 3024 cal (د) جمله درست کدام است؟

الف) دمای ذوب همه مواد در اثر فشار افزایش می یابد.

ب) گرمای تبخیر هر مایع به فشار مؤثر بر مایع بستگی دارد.

ج) هر گازی را در هر دمایی با افزایش فشار می توان مایع کرد.

د) نقطه ذوب و نقطه سه گانه آب برهم منطبقند.

۴۳- دو قطعه یخ صفر درجه را به هم مالش می دهیم تا ۲۰ گرم آب صفر درجه تولید گردد. در این عمل چه مقدار کار انجام می شود؟

الف) $84 \times 10^4 \text{ J}$ (الف) $67/2 \times 10^2 \text{ J}$ (ب) $84 \times 10^3 \text{ J}$ (د) $4536 \times 10^5 \text{ J}$ (ج)

۴۴- هنگامی که مشغول استفاده از محتوای کپسول گاز مایع به عنوان سوخت هستیم، گاز داخل کپسول:

الف) با محیط اطراف خود تبادل گرما و کار نمی کند.

ب) از محیط اطراف خود گرما می گیرد.

ج) به محیط اطراف خود گرما می دهد.

د) فشار بخار سیر شده آن افزایش می یابد.

۴۵- جمله درست کدام است؟

الف) همه اجسام در اثر ذوب افزایش حجم می یابند.

ب) افزایش فشار نقطه ذوب همه اجسام را بالا می برد.

ج) همه اجسام در دمای ثابتی ذوب می شوند.

د) همه اجسام در موقع ذوب گرما می گیرند.

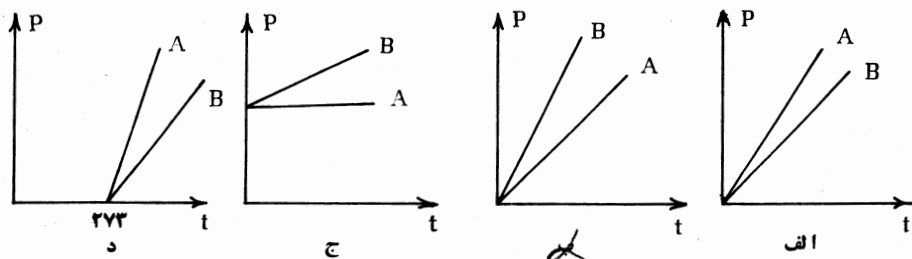
۴۶- در یک توربین بخار، درجه حرارت منبع گرم ۴۵۰ درجه سانتیگراد و درجه حرارت منبع سرد ۵۰ درجه سانتیگراد است. بازده علمی ماکزیمم این توربین چقدر است؟

الف) ۵۵٪ (الف) ۸۹٪ (ب) ۶۹٪ (ج) ۱ (د)

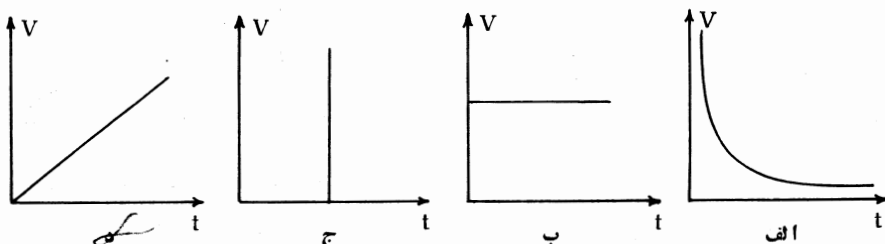
۴۷- در استوانه فلزی به حجم $۲۲/۴$ لیتر، ۴ گرم نئیدروژن وارد می‌کنیم. فشار این گاز در دمای ۲۷۳°C برابر است با:

الف) ۱ اتمسفر ب) ۲ اتمسفر ج) ۳ اتمسفر د) ۴ اتمسفر

۴۸- در دو ظرف A و B دو جرم مساوی هوا را در حجم ثابت گرم می‌کنیم. اگر حجم ظرف A بزرگتر از حجم ظرف B باشد، نمودار فشار-دمای آن دو ظرف کدام است؟



۴۹- کدام یک از نمودارهای حجم - دمای زیر مربوط به حالتی است که فشار گاز ثابت باشد؟



۵۰- طول یک میله مسی و یک میله آهنی در دمای ۲۰°C برابر است و ضریب انبساط خطی مس تقریباً $۱/۵$ برابر آهن است. اگر دو میله را به دمای صفر برسانیم:

- الف) طول میله مسی کوتاهتر از طول میله آهنی می‌شود.
 ب) تغییر طول میله مسی کمتر از تغییر طول میله آهنی می‌شود.
 ج) طول میله مسی $۱/۵$ برابر میله آهنی می‌شود.
 د) طول میله آهنی $۱/۵$ برابر میله مسی می‌شود.

۵۱- وقتی یک لوله فلزی گرم می‌شود:

- الف) جرم حجمی آن کاهش می‌یابد. ب) قطر داخلی آن کاهش می‌یابد.
 ج) وزن آن کاهش می‌یابد. د) جرم آن کاهش می‌یابد.

۵۲- دو تیغه نازک مس و آهن که طول آنها در 25°C مساوی است، روی هم قرار گرفته و سرتاسر به هم جوش خورده‌اند. هرگاه دمای تیغه‌ها را به صفر برسانیم (ضریب انبساط خطی مس $1/5$ برابر ضریب انبساط خطی آهن است) در این صورت:

(الف) تیغه‌ها مارپیچی می‌شوند.

(ب) تیغه مس به طرف تیغه آهن خم می‌شود.

(ج) تیغه آهن به طرف تیغه مس خم می‌شود

(د) تغییری در راستای میله‌ها داده نمی‌شود.

۵۳- چند کیلوگرم آب 20°C را با 5 کیلوگرم آب 80°C مخلوط کنیم تا دمای مخلوط 40°C شود؟

(الف) 4 (ب) 10 (ج) 5 (د) $2/5$

۵۴- ظرفیت گرمایی ویژه يك ماده با چه واحدی سنجیده می‌شود؟

(الف) $\text{J}/^{\circ}\text{C}$ (ب) J/kg (ج) $\text{J}/\text{kg}^{\circ}\text{C}$ (د) $\text{Jkg}/^{\circ}\text{C}$

۵۵- جرم گلوله A دو برابر گلوله B و ظرفیت گرمایی ویژه آن نصف ظرفیت گرمایی گلوله B است اگر به هر دو گلوله به يك اندازه گرما دهیم، نسبت تغییر دمای گلوله

اولی به دومی یعنی $\frac{\Delta\theta_A}{\Delta\theta_B}$ برابر خواهد شد با:

(الف) 2 (ب) $\frac{1}{4}$ (ج) 1 (د) 4

۵۶- جمله درست کدام است؟

(الف) پایین‌ترین دمای ممکن صفر مطلق است.

(ب) برای تعیین دماهای پایین‌تر از نقطه ذوب یخ دماسنج جیوه‌ای و برای بالاتر از نقطه جوش آب دماسنج الکلی مناسب است.

(ج) برای تعیین دمای هر جسم، تماس مستقیم آن جسم با دماسنج ضروری است.

(د) در دماسنج‌های گازی، محدودیت منحصر به مایع شدن گاز درون دماسنج است و هیچ گونه محدودیتی در دماهای بالا وجود ندارد.

۵۷- يك دماسنج برحسب درجه بندی صد قسمتی و فارینهایت و کلوین مدرج شده است. در این صورت:

(الف) عددی که معرف دمای فارینهایت باشد همیشه از عدد صد قسمتی بزرگتر است.

(ب) طول هریک درجه فارینهایت، بزرگتر از يك درجه صد قسمتی است.

ج) در هیچ نقطه‌ای عدد فارینهایت برابر عدد صدقسمتی نیست.

د) عدد کلوین همیشه اندازه ثابتی از عدد صدقسمتی بزرگتر است.

۵۸- در شکل زیر طول قسمتی که هوادر آن محبوس است، در سه دمای مختلف اندازه گیری



شده است (فشار هوا يك اتمسفر است) در نقطه ذوب یخ $l_0 = 13/6 \text{ cm}$ ، در

دمای اتاق $l = 14/4 \text{ cm}$ ، در نقطه جوش آب $l_{100} = 18/6 \text{ cm}$. دمای اتاق

چند درجه سانتیگراد است؟

الف) $0/8$ (ب) $4/2$ (ج) $14/4$ (د) 16

۵۹- در شکل بالا اگر لوله را در جایی که دمای آن 20°C — است قرار دهیم، طول l

بر حسب سانتیمتر چقدر می شود؟

الف) $20/0$ (ب) $12/6$ (ج) $14/6$ (د) $13/6$

۶۰- منشأ نیروهای بین مولکولی:

الف) میدان مغناطیسی بین مولکولهاست (ب) میدان الکتریکی بین مولکولهاست

ج) وزن مولکولهاست (د) جرم مولکولهاست

۶۱- طبق تئوری مولکولی:

الف) فاصله مراکز دو مولکول بیش از قطر مولکول است.

ب) مولکولها در هر شرایطی یکدیگر را جذب می کنند.

ج) سرعت همه مولکولها در دمای یکسان برابر است.

د) نیروهای بین مولکولی با فاصله مولکولها بستگی دارد.

۶۲- اگر مقدار معینی از يك ماده، در دمای 20°C دارای حجم ثابت و شکل غیر

مشخصی باشد، آن ماده در چه حالتی است؟

الف) جامد (ب) مایع (ج) گاز (د) بخار

۶۳- درجه دمایی دماسنج فارینهایت و دماسنج درجه بندی شده بر حسب درجه بندی مطلق

يك عدد را نشان می دهند؟

الف) 574 (ب) 584 (ج) 564 (د) 578

۶۴- اکسیژن در دمای 183°C — مایع می گردد. این دما چند درجه کلوین و چند درجه

فارینهایت است؟

الف) 90°K و $275/4^\circ\text{F}$ (ب) 90°K و $297/4^\circ\text{F}$

ج) 80°K و $297/4^\circ\text{F}$ (د) 80°K و $275/4^\circ\text{F}$

۶۵- به گلوله‌ای به جرم m و ظرفیت گرمایی ویژه C که در دمای صفر قرار دارد، در هرنانیه مقدار ثابت q گرما می‌دهیم. معادله تغییرات دما- زمان برای این گلوله کدام است؟

$$\theta = qmc t \quad (\text{الف}) \quad \theta = \frac{t}{qmc}$$

$$\theta = \frac{q}{mc} t \quad (\text{ج}) \quad \theta = \frac{mc}{q} t$$

۶۶- جرم اتمی مس ۶۴ و جرم اتمی آهن ۵۶ است. نسبت ظرفیت گرمایی ویژه آهن به مس کدام است؟

$$\frac{8}{7} \quad (\text{الف}) \quad \frac{7}{8} \quad (\text{ب}) \quad 1 \quad (\text{ج}) \quad \frac{1}{2} \quad (\text{د})$$

۶۷- فاصله بین قطعات ریل راه آهن در دمای صفر درجه سانتیگراد، یک سانتیمتر است. اگر طول هر قطعه ریل ۱۰ متر باشد، درجه دمایی دوقطعه ریل به هم می‌رسند؟
($\lambda = 12 \times 10^{-6}$)

$$25 \quad (\text{الف}) \quad 250 \quad (\text{ب}) \quad 1200 \quad (\text{ج}) \quad \frac{250}{3} \quad (\text{د})$$

۶۸- دوميله به ضرایب انبساط $\lambda_1 = 2\lambda_2$ و طولهای $l_1 = \frac{1}{2}l_2$ را ۲۰ درجه گرمتر می‌کنیم. نسبت افزایش طول اولی به دومی چقدر است؟

$$2 \quad (\text{الف}) \quad 1 \quad (\text{ب}) \quad 4 \quad (\text{ج}) \quad \frac{1}{4} \quad (\text{د})$$

۶۹- یک کره توپر به شعاع R و یک کره توخالی به شعاع $2R$ را به اندازه صد درجه گرمتر می‌کنیم. تغییر حجم کره توپر نسبت به تغییر حجم کره توخالی برابر خواهد شد با:

$$\frac{1}{2} \quad (\text{الف}) \quad \frac{1}{8} \quad (\text{ب}) \quad \frac{1}{4} \quad (\text{ج}) \quad 8 \quad (\text{د})$$

۷۰- طبق قانون بویل-ماریوت:

(الف) حجم جرم معینی از گاز در دمای ثابت، با فشار آن نسبت مستقیم دارد.
(ب) فشار جرم معینی از گاز در حجم ثابت، با دمای مطلق آن نسبت مستقیم دارد.
(ج) در دمای ثابت حجم مقدار معینی گاز، با فشار آن نسبت عکس دارد.
(د) جرم حجمی مقدار معینی گاز در دمای ثابت، با فشار آن نسبت عکس دارد.

۷۱- در یک استوانه، پیستون متحرکی قرار دارد. اگر دو انتهای استوانه مسدود باشد و در یک طرف پیستون m گرم گاز و در طرف دیگرش $2m$ گرم از همان گاز وارد

کنیم، حجم قسمت کوچکتر به بزرگتر برابر است با:

(الف) ۲ (ب) ۱ (ج) $\frac{1}{4}$ (د) $\frac{2}{3}$

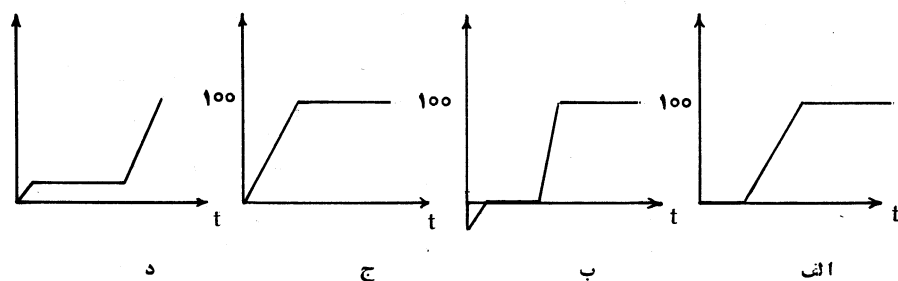
۷۲- در ظرف استوانه شکلی، ۳۰۰ سانتیمتر مکعب هوا در زیر پیستونی به وزن ناچیز محبوس است. پیستون می‌تواند بدون اصطکاک درون استوانه حرکت نماید و سطح مقطع آن 20 cm^2 است. یک وزنه ۱۰ کیلوگرمی روی پیستون قرار می‌دهیم. پیستون ۱ سانتیمتر پایین می‌آید و پس از آن که دمای اولیه خود را بازیافت، دوباره به حال تعادل قرار می‌گیرد. اگر فشار هوای محیط ۱۰ نیوتن بر متر مربع باشد، تغییر مکان ۱ چقدر است؟

(الف) ۵ (ب) ۱۰ (ج) ۱۵ (د) $2/5$

۷۳- در ظرفی به حجم ۱۰ لیترگازی با فشار ۵ اتمسفر موجود است. اگر مقداری از این گاز را که حجمش برابر ۵ لیتر و فشارش ۴ اتمسفر باشد، از این ظرف خارج کنیم فشار گاز باقیمانده چقدر خواهد شد؟

(الف) ۳ (ب) ۲ (ج) ۱ (د) ۴

۷۴- دانش‌آموزی ۱۰ گرم یخ صفر درجه را که در ظرفی قرار داشت، به طور یکنواخت و به تدریج حرارت داد تا آنکه آب به جوش آمد. کدام یک از نمودارهای زیر در مورد آزمایش او درست است؟



۷۵- یک گلوله فلزی به جرم ۴۰۰ گرم و دمای ۵۰ درجه را روی یک قطعه بزرگ یخ صفر درجه قرار می‌دهیم. پس از برقراری تعادل، جرم یخ ذوب شده چقدر است؟

گرمای نهان ذوب یخ $336 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ و ظرفیت گرمایی ویژه فلز $126 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$ است.

(الف) $12/5 \text{ g}$ (ب) $7/5 \text{ g}$ (ج) 50 g (د) 160 g

۷۶- برای آنکه آب منجمد نشود روی آن نمک می‌پاشند، زیرا:

- الف) محلول آب و نمک یخ نمی‌بندد.
 ب) عمل حل نمک در آب گرما تولید می‌کند.
 ج) نمک نقطه انجماد آب را پایین می‌آورد.
 د) نمک نقطه انجماد آب را بالا می‌برد.

۷۷- کدام جمله در مورد انتقال گرما از راه هدایت درست است؟

- الف) سریعترین روش انتقال گرماست.
 ب) با سرعت انتقال مولکولها نسبت مستقیم دارد.
 ج) در هیچ مایعی صورت نمی‌گیرد.
 د) به اختلاف دمای دوسره‌ادی و جنس و سطح مقطع آن بستگی دارد.

۷۸- در کشورهای سردسیر دیوار ساختمانها را دو جداره می‌سازند، به طوری که بین دو جدار هوا قرار گیرد. علت آن است که:

الف) میزان انتقال گرما به کمک دوجدار مجزا، کمتر از يك جدار به همان ضخامت است.

- ب) هوایی که بین دوجدار قرار می‌گیرد جابه‌جا نمی‌شود.
 ج) ضریب هدایت گرمایی هوا ناچیز است و گرما از راه هوای بین دو جدار منتقل نمی‌شود.

د) تعداد سطوح بازتایش‌کننده، افزایش می‌یابد و گرما منتقل نمی‌شود.

۷۹- طبق اصل اول ترمودینامیک:

$$\text{الف) } W + Q = 0$$

- ب) غیرممکن است موتوری ساخته شود که بدون دریافت انرژی همیشه کار کند.
 ج) نمی‌توان ماشینی ساخت که با يك چشمه حرارتی کار کند.

$$\text{د) } R = \frac{W}{Q}$$

۸۰- اگر دمای منبع گرم و سرد يك ماشین حرارتی را به يك نسبت افزایش دهیم، راندمان

علمی ماشین:

- الف) افزایش می‌یابد.
 ب) کاهش می‌یابد.
 ج) تغییر نمی‌کند.
 د) به میزان افزایش دما بستگی دارد.

۸۱- به يك دستگاه حرارتی که می‌تواند با محیط خارج کار یا گرما یا هردو را مبادله کند،

مقداری گرما داده می‌شود.

الف) مقداری از این گرما الزاماً به کار مکانیکی تبدیل می‌شود.

ب) دمای دستگاه الزاماً بالا می‌رود.

ج) دمای دستگاه می‌تواند بالا یا پایین برود ولی الزاماً نمی‌تواند ثابت بماند.

د) دمای دستگاه ممکن است بالا یا پایین برود یا ثابت بماند.

۸۲- ماشین بخاری از دیگ، بخار 180°C دریافت می‌کند و از اگزوز بخار 100°C

وارد هوا می‌کند. بازده علمی ماکزیمم این دستگاه چقدر است؟

الف) ۲۷٪ ب) ۱۸٪ ج) ۴۴٪ د) ۵۵٪

۸۳- متوسط انرژی جنبشی مولکولی در حالت جامد يك ماده:

الف) بیشتر از حالت مایع است.

ب) کمتر از حالت بخار آن ماده است.

ج) برابر صفر است.

د) نسبت به حالت بخار بسیار زیاد است.

۸۴- گرما به وسیلهٔ ... تبدیل می‌گردد.

الف) رادیومتر کروکس به انرژی الکتریکی

ب) دینام به انرژی الکتریکی

ج) بخاری نفتی به انرژی شیمیایی

د) پدیدهٔ التهاب به انرژی تابشی

۸۵- کدام عبارت صحیح است؟

الف) مایهٔ اصلی انرژی خورشید واکنشهای شیمیایی است.

ب) محلول و مخلوط نیز با تئوری مولکولی توجیه می‌شوند.

ج) تئوری مولکولی ساختمان آنها را نیز تشریح می‌کند.

د) در يك دمای مشخص همهٔ مولکولهای ماده با سرعت یکسان حرکت می‌کنند.

۸۶- يك ژول برابر است با:

الف) ۵/۲۴ کالری ب) ۴/۱۸ کالری

ج) يك بی‌تی‌یو د) 10^{-6} ترمی

۸۷- در گازها نسبت $\frac{C_p}{C_v}$:

الف) برای همهٔ گازها مقدار ثابتی است. ب) همیشه بزرگتر از يك است.

ج) همیشه کوچکتر از يك است. د) همیشه برابر واحد است.

۸۸- يك ژول انرژی گرمایی دمای چه مقدار آب را يك درجه سلسیوس بالا می برد؟

الف) $4/2$ گرم (ب) $\frac{1}{4/2}$ گرم

ج) يك گرم (د) يك كيلوگرم

۸۹- يك خط کش فولادی میلیمتری در 20°C درست نشان می دهد. اگر آن را در صفر درجه به کار بریم و $\lambda = 10^{-5} \text{ C}^{-1}$ باشد، خطای نسبی برابر است با:

الف) 2×10^{-4} (ب) $0/05$ (ج) $\frac{1}{2000}$ (د) 10^{-4}

۹۰- دريك استوانه مقداری گاز تحت فشار زیاد وجود دارد. اگر بدنه استوانه كاملاً عایق گرما باشد، به طوری كه استوانه با بیرون مبادله گرما نكند و در این حالت حرکت يك پیستون در استوانه بتواند فشار را کاهش دهد، در این صورت:

الف) انرژی درونی گاز ثابت می ماند.

ب) حاصل ضرب فشار در حجم گاز ثابت می ماند.

ج) دمای گاز ثابت می ماند.

د) گاز سرد می شود، زیرا مقداری از انرژی درونی آن در اثر انبساط به کار مکانیکی تبدیل می شود.

۹۱- اگر دمای اتاقی به حجم $44/8$ مترمکعب را از صفر درجه سانتیگراد به $27/3$ درجه برسانیم چه جرمی از هوا، از اتاق خارج می شود؟ فشار هوا يك جو و جرم مولکولی مخلوط هوا 29 گرم است.

الف) 58 gr (ب) $5/8 \text{ gr}$ (ج) 58 kg (د) $5/8 \text{ kg}$

۹۲- در پرسش فوق چند ژول انرژی برای بالابردن دمای اتاق به کار رفته است؟

الف) 83×273 (ب) $166/2 \times 273$

ج) $831 \times 27/3$ (د) $16620 \times 27/3$

۹۳- فشارسنجی روی کپسول گاز ئیدروژن نصب شده است و در زمستان كه دمای محیط $3-$ درجه سلسیوس است فشار $3/0$ اتمسفر را نشان می دهد. در تابستان كه دمای محیط به 27 درجه سلسیوس می رسد، فشارسنج چه فشاری را نشان می دهد؟ انبساط کپسول ناچیز و فرض براین است كه گاز مصرف نشده است.

الف) $3/3$ اتمسفر (ب) $3/5$ اتمسفر

ج) $3/6$ اتمسفر (د) $3/8$ اتمسفر

۹۴- دمای يك خط کش فلزی كه ضریب انبساط آن 10^{-4} C^{-1} است چند درجه سلسیوس

باید افزایش یابد تا افزایش طول خط کش $\frac{1}{1000}$ طول اولیه اش باشد؟

الف) ۱۰۰ (ب) ۱۰ (ج) ۴۰ (د) ۱۰۰۰

۹۵- مقداری گاز صفر درجه سانتیگراد را تا $136/5^{\circ}\text{C}$ گرم کرده و حجم آن را $1/5$ برابر می‌کنیم. فشار گاز چند برابر مقدار اولیه می‌شود.

الف) $2/25$ (ب) $1/5$ (ج) $\frac{2}{3}$ (د) تغییر نمی‌کند

پاسخنامه

شماره پاسخ	شماره پاسخ	شماره پاسخ	شماره پاسخ
الف ۷۳	د ۴۹	ب ۲۵	د ۱
الف ۷۴	الف ۵۰	ب ۲۶	الف ۲
ب ۷۵	الف ۵۱	ب ۲۷	الف ۳
ج ۷۶	ج ۵۲	د ۲۸	ج ۴
د ۷۷	ب ۵۳	ج ۲۹	ج ۵
ج ۷۸	ج ۵۴	ج ۳۰	ج ۶
الف ۷۹	ج ۵۵	الف ۳۱	ب ۷
ج ۸۰	الف ۵۶	ب ۳۲	ج ۸
د ۸۱	د ۵۷	ج ۳۳	الف ۹
ب ۸۲	د ۵۸	د ۳۴	ج ۱۰
ب ۸۳	ب ۵۹	د ۳۵	ج ۱۱
د ۸۴	ب ۶۰	د ۳۶	ب ۱۲
ب ۸۵	د ۶۱	ب ۳۷	ج ۱۳
الف ۸۶	ب ۶۲	ج ۳۸	الف ۱۴
ب ۸۷	الف ۶۳	الف ۳۹	الف ۱۵
ب ۸۸	ب ۶۴	الف ۴۰	ب ۱۶
الف ۸۹	د ۶۵	ب ۴۱	ب ۱۷
د ۹۰	الف ۶۶	ب ۴۲	الف ۱۸
د ۹۱	د ۶۷	ب ۴۳	د ۱۹
د ۹۲	ب ۶۸	ب ۴۴	ج ۲۰
الف ۹۳	ب ۶۹	د ۴۵	د ۲۱
ب ۹۴	ج ۷۰	الف ۴۶	ب ۲۲
د ۹۵	ج ۷۱	د ۴۷	ب ۲۳
	الف ۷۲	ب ۴۸	د ۲۴

پیوستها

جدول ۱- ظرفیت گرمایی ویژه ، گرمای ذوب، نقطه ذوب و نقطه جوش

نقطه جوش °C	گرمای ذوب cal/g	نقطه ذوب °C	ظرفیت گرمایی ویژه در ۲۰°C بر حسب cal/g °C	جسم
۵۶/۷	—	—۹۴/۳	۰/۵۲	استن
۲۰۰۰	۷۶/۸	۶۵۸/۷	۰/۲۱	آلومینیم
۸۰/۲	۳۰/۴	۵/۵	۰/۴۰۷	بنزن
—	—	۹۰۰	۰/۰۹۱۷	برنج
۴۶/۲	—	—۱۱۲	۰/۲۴	سولفور کربن
—	۲۳—۳۳	۱۱۰۰—۱۲۰۰	۰/۱۲	چدن
۲۳۰۰	۴۲	۱۰۸۳	۰/۰۹۴	مس
۷۸/۳	۲۵	—۱۱۴	۰/۵۸	الکل اتیلیک
۳۴/۶	۲۷	—۱۱۶/۳	۰/۵۶	اتر معمولی
—	—	—	۰/۲۵—۲۲	فلوئوپلاستیک - ۴
۲۹۰	۴۲	—۲۰	۰/۵۸	گلیسرین
۲۶۰۰	۱۵/۹	۱۰۶۳	۰/۰۳۲	طلا
۱۰۰	۷۹/۷	۰	۱	آب
۳۰۰۰	۲۳—۳۳	۱۵۳۰	۰/۱۱۹	آهن

دنباله جدول ۱

نقطه جوش °C	گرمای ذوب cal/g	نقطه ذوب °C	ظرفیت گرمایی ویژه در ۲۵°C بر حسب cal/g °C	جسم
—	۵/۳۶	۳۲۷	۰/۰۳	سرب
۳۵۶/۷	۲/۸	—۳۸/۹	۰/۰۳۳	جیوه
۶۴/۷	۲۴	—۹۷	۰/۶	الکل متیلیک
۲/۱۸	—	۸۰	۰/۲۹	نفتالین
—	۵۸/۳—۷۳	۱۴۵۲	۰/۱۱	نیکل
۹۶	۲۰/۷	—۱۲۷	۰/۵۷	الکل پروپیلیک
۲۱۰۰	۲۱	۹۶۰/۵	۰/۰۵۶	نقره
—	۴۹	۱۳۰۰—۱۴۰۰	۰/۱۱	پولاد
—	۱۴	۲۳۱/۹	۰/۰۵۵	قلع
۱۱۰/۷	۱۷/۲	—۹۵/۱	۰/۴۱۴	تولوئن
—	—	—	۰/۲۷۱—۰/۲۸۶	وینیل پلاستیک
				چوب:
				بلوط (محتوی ۸-۶٪
—	—	—	۰/۵۷	وزنی رطوبت)
				کاج (۸٪
—	—	—	۰/۶۵	وزنی رطوبت)
—	۸/۴	۶۵/۵	۰/۰۴	آلیاژ وود

جدول ۲- ضریبهای انبساط خطی جامدها در تقریباً ۲۰°C

$\alpha \times 10^{-6}$	جسم	$\alpha \times 10^{-6}$	جسم
۱۰/۲	چدن	۲۲/۹	آلومینیم
۱۰/۴	شمش چدن	۱۳/۴	بیسموت
۱۱/۹	آهن کوبیده	۱۸/۹	برنج
۲۸/۳	سرب	۵/۵	آجر ساختمان
۲۵/۱	منیزیم	۱۷/۵	برنز
۱۳/۴	نیکل	۷/۹	کربن (گرافیت)
۸/۹	پلاتین	۱۲/۰	سیمان و بتون
۸/۷	آلیاژ پلاتین - ایریدیم	۱۷/۰	کنستانتان
۳/۰	چینی	۱۶/۷	مس
۰/۵	کوارتز (ذوب شده)	۰/۹۱	الماس
۱۱/۹	پولاد ۳ (درجه ۲۰)	۲۲/۶	دورالومین
۱۱/۰	پولاد زنک نزن	۷۰	ابونیت
۲۱/۴	قلع	۱۸/۴	نقره آلمانی
۴/۳	تنگستن	۸/۵	شیشه، معمولی
۷۰	وینیل پلاستیک	۳	شیشه، پیرکس
۵۰-۶۰	چوب (عمود بر الیاف)	۱۴/۵	طلا
۲-۶	چوب (در امتداد الیاف)	۸/۳	گرانیت
۳۰	روی	۵۰/۷	یخ $۱۰^{\circ}\text{C} - ۰^{\circ}\text{C}$
		۶/۵	ایریدیم

جدول ۳- رساناییهای ویژه گرمایی

رسانایی ویژه گرمایی Kcal/m h °C	محتوی % وزنی رطوبت	جسم
۱۸۰	—	آلومینیم
۷۳/۵	—	برنج
۵۴	—	چدن
۳۳۵	—	مس
۲۶۹	—	طلا
۶۴	—	آهن
۲۵	—	جیوه
۳۶۰	—	نقره
۳۹	—	پولاد
مواد عایق		
۰/۱۳۵	هوای خشک	ورق با پنبه نسوز
۰/۰۴۵ — ۰/۰۰۸	«	نمد با پنبه نسوز
۰/۱۵۲ — ۰/۱۱۵	«	کاغذ با پنبه نسوز
۰/۱۰۳ — ۰/۲۷۵	«	بتون مجوف
۰/۰۶۳ — ۰/۰۹۲	«	شیشه متخلخل
۰/۰۳۷ — ۰/۰۵	«	رزین متخلخل
۰/۲۰ — ۰/۳۲	«	سرباره کوره
۰/۰۳۳	«	لاستیک متخلخل
۰/۰۹	«	صفحه پرس (ساخته شده از نی)
۰/۰۴	«	نمد پشمی

دنباله جدول ۳

جسم	محتوی % وزنی رطوبت	رسانایی ویژه گرمایی kcal/m h °C
مواد دیگر		
باکلیت برق	—	۰/۲۵
آجر ساختمان	هوای خشک	۰/۵۸ — ۰/۷۰
مقوا	«	۰/۱۲ — ۰/۳۰
خاک رس	۱۵ — ۲۰	۰/۶ — ۰/۸
بتون مسلح	۸	۱/۳۳
بتون با خرده سنگ	۸	۱/۱
مقوا با چوب پنبه	۰	۰/۰۳۶ — ۰/۰۴۶
فلوئوپلاستیک — ۳	—	۰/۰۵
فلوئوپلاستیک — ۴	—	۰/۲
شیشه معمولی	—	۰/۶۴
گرانیت	—	۱/۸۹
ریک	هوای خشک	۱/۳۱
یخ	—	۱/۹
جرم	هوای خشک	۰/۱۲ — ۰/۱۴
بلوط (عمود برالیاف)	۶ — ۸	۰/۱۷ — ۰/۱۸
بلوط (در امتداد الیاف)	۶ — ۸	۰/۳ — ۰/۳۷
کافز، معمولی	هوای خشک	۰/۱۲
کاج (عمود برالیاف)	۸	۰/۳۰ — ۰/۳۵
کاج (در امتداد الیاف)	۸	۰/۶۸
وینیل پلاستیک	—	۰/۱۰۸

جدول ۴- گرمای تبخیر در نقطه جوش و فشار متعارفی جو

گرمای تبخیر cal/g	جسم	گرمای تبخیر cal/g	جسم
۱۰۸	ئیدروژن مایع	۱۲۵	استن
۴۷/۶	نیتروژن مایع	۹۴	بنزن
۵۰/۹	اکسیژن مایع	۵۵-۷۵	بنزین هواپیما
۶۸	جیوه	۸۵	سولفور دو کربن
۲۶۵	الکل متیلیک	۲۰۲	الکل اتیلیک
۱۶۳	الکل پروپیلیک	۸۳/۸	اتر معمولی
۸۷	تولوئن	۵۰-۵۵	کروسن
۵۳۹/۷	آب	۶	هلیوم مایع

جدول ۵- گرمای تبخیر سولفور دو کربن در دماهای مختلف

دما °C	گرمای تبخیر cal/g	دما °C	گرمای تبخیر cal/g
-۵۰	۸۰/۶	۰	۵۶/۵
-۴۰	۷۶/۵	۲۰	۳۷
-۳۰	۷۲/۵	۳۰	۱۵
-۱۰	۶۲/۵	۳۱/۱	۰/۰

جدول ۶

فشار kg/cm ^۲	دما °C	حجم ویژه بخار m ^۳ /kg	گرمای تبخیر cal/g
۱۲	۱۸۷/۱	۰/۱۶۶۳	۴۷۳/۸
۱۴	۱۹۴/۱	۰/۱۴۳۴	۴۶۷/۲
۱۶	۲۰۰/۴	۰/۱۲۶۱	۴۶۱/۲
۱۸	۲۰۶/۲	۰/۱۱۲۵	۴۵۵/۵
۲۰	۲۱۱/۴	۰/۱۰۱۵	۴۵۰/۳
۳۰	۲۳۲/۸	۰/۰۶۷۹	۴۲۷/۵
۴۰	۲۴۹/۲	۰/۱۵۰۶	۴۰۸/۹

جدول ۷- ضریبهای انبساط حجمی مایعات β در تقریباً ۱۸°C

$\beta \times 10^{-4}$ ۱/°C	جسم	$\beta \times 10^{-4}$ ۱/°C	جسم
۱۱/۹	الکل متیلیک	۱۴/۳	استن
۱۲/۴	اسید نیتریک	۸/۵	آنیلین
۹/۲	نفت خام	۱۰/۶	بنزن
۹/۸	الکل پروپیلیک	۱۱/۹	سولفور کربن
۱۰/۸	تولوئن	۱۲/۸	کلروفرم
۹/۴۰	تربانتین	۱۱	الکل اتیلیک
۰/۵۳	آب در ۱۰°-۵°	۱۶/۳	اتر معمولی
۱/۵۰	آب در ۲۰°-۱۰°	۱۰/۲	اسید فرمیک
۳/۰۲	آب در ۴۰°-۲۰°	۱/۸۱	جیوه

جدول ۸- پارامترهای بحرانی

جسم	دمای بحرانی °C	فشار بحرانی atm	چگالی بحرانی g /cm ^۳
اسیداستیک	۳۲۱/۶	۵۷/۲	۰/۳۵۱
استن	۲۳۵	۴۷	۰/۲۶۸
بنزن	۲۸۸/۶	۴۷/۷	۰/۳۰۴
دی اکسید کربن	۳۱/۱	۷۳	۰/۴۶۰
الکل اتیلیک	۲۴۳/۱	۶۳/۱	۰/۲۷۶
هلیم	-۲۶۷/۹	۳/۲۶	۰/۰۶۹
ئیدروژن	-۲۳۹/۹	۱۲/۸	۰/۰۳۱
متان	-۸۲/۵	۴۵/۸	۰/۱۶۲
الکل متیلیک	۲۴۰	۷۸/۷	۰/۲۷۲
نفتالین	۴۶۸/۲	۳۹/۲	—
نیتروژن	-۱۴۷/۱	۳۳/۵	۰/۳۱۱
اکسیژن	-۱۱۸/۸	۴۹/۷	۰/۴۳۰
الکل پروپیلیک	۲۶۳/۷	۴۹/۹۵	۰/۲۷۳
تولوئن	۳۲۰/۶	۴۱/۶	۰/۲۹۲
آب	۳۷۴/۱۵	۲۲۲	۰/۳۰۷

جدول ۹- گرمای احتراق بعضی سوختها

مقدار گرمایی که از احتراق واحد جرم (یا واحد حجم) یک سوخت پدید می‌آید، گرمای احتراق نامیده می‌شود

گرمای احتراق		سوخت
		جامد
۷۲۴۰	kcal/gr	آنتراسیت (درجه AP)
۷۱۰۰	«	زغال
۴۹۰۰	«	زغال سنگ (درجه D)
۱۲۹۰	«	دینامیت ۷۵٪
۷۲۰-۷۵۰	«	باروت
۲۵۶۰	«	تورب (به صورت کلوخه)
۲۳۰۰	«	شیست (استنی)
۲۴۰۰	«	چوب
		مایع
۱۰۶۰۰	«	بنزین
۹۴۰۰	«	نفت سیاه
۶۴۷۰	«	الکل اتیلیک
۱۰۳۰۰	«	کروسن
		گاز
۳۱۰۰	kcal/m ^۳	اکسید کربن
۳۸۰۰-۴۵۰۰	«	گاز کوره کک
۲۵۸۰	«	ئیدروژن
۴۲۰۰-۵۰۰۰	«	گازروشنایی
۸۵۰۰	«	گاز طبیعی

جدول ۱۰- جدول نم‌سنجی رطوبت هوا

دما از روی دماسنج با مخزن خشك °C	اختلاف بین درجه‌ای که دماسنج با مخزن خشك نشان می‌دهد بادمايي که دماسنج با مخزن مرطوب نشان می‌دهد بر حسب °C										
	۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
۰	۱۰۰	۸۱	۶۳	۴۵	۲۸	۱۱	—	—	—	—	—
۲	۱۰۰	۸۴	۶۸	۵۱	۳۵	۲۰	—	—	—	—	—
۴	۱۰۰	۸۵	۷۰	۵۶	۴۲	۲۸	۱۴	—	—	—	—
۶	۱۰۰	۸۶	۷۳	۶۰	۴۷	۳۵	۲۳	۱۰	—	—	—
۸	۱۰۰	۸۷	۷۵	۶۳	۵۱	۴۰	۲۸	۱۸	۷	—	—
۱۰	۱۰۰	۸۸	۷۶	۶۵	۵۴	۴۴	۳۴	۲۴	۱۴	۴	—
۱۲	۱۰۰	۸۹	۷۸	۶۸	۵۷	۴۸	۳۸	۲۹	۲۰	۱۱	—
۱۴	۱۰۰	۹۰	۷۹	۷۰	۶۰	۵۱	۴۲	۳۳	۲۵	۱۷	۹
۱۶	۱۰۰	۹۰	۸۱	۷۱	۶۲	۵۴	۴۵	۳۷	۳۰	۲۲	۱۵
۱۸	۱۰۰	۹۱	۸۲	۷۳	۶۴	۵۶	۴۸	۴۱	۳۴	۲۶	۲۰
۲۰	۱۰۰	۹۱	۸۳	۷۴	۶۶	۵۹	۵۱	۴۴	۳۷	۳۰	۲۴
۲۲	۱۰۰	۹۲	۸۳	۷۶	۶۸	۶۱	۵۴	۴۷	۴۰	۳۴	۲۸
۲۴	۱۰۰	۹۲	۸۴	۷۷	۶۹	۶۲	۵۶	۴۹	۴۳	۳۷	۳۱
۲۶	۱۰۰	۹۲	۸۵	۷۸	۷۱	۶۴	۵۸	۵۰	۴۵	۴۰	۳۴
۲۸	۱۰۰	۹۳	۸۵	۷۸	۷۲	۶۵	۵۹	۵۳	۴۸	۴۲	۳۷
۳۰	۱۰۰	۹۳	۸۶	۷۹	۷۳	۶۷	۶۱	۵۵	۵۰	۴۴	۳۹

تذکره: رطوبت نسبی به وسیلهٔ نم‌سنج تعیین می‌شود (رطوبت سنج دارای مخزن مرطوب و خشك) که شامل دو دماسنج است یکی با مخزن خشك و دیگری با مخزنی که با پارچهٔ مرطوب پیچیده شده است.

فرهنگ اصطلاحات

آنترپی (Entropy)

- ۱- معیاری است برای اندازه گیری میزان بی نظمی يك دستگاه.
- ۲- کمیت فیزیکی است که توانایی انجام کار دستگاه را مشخص می کند.

اتمسفر (Atmosphere)

- ۱- پوشش گازی اطراف يك سیاره را گویند.
- ۲- واحد عملی فشار است و آن برابر فشار هوا در کنار دریا، دردمای صفر درجه سانتیگراد است.

امواج الکترومagnetیک (Electromagnetic waves)

امواجی هستند که از دو میدان الکتریکی و مغناطیسی، عمود برهم، تشکیل شده اند و در فضا با سرعت نور حرکت می کنند.

بلور (Crystal)

جسم جامدی است که از خود يك نوع الگوی هندسی مشخص ظاهر سازد.

بی تی یو (British Thermal Unit)

مقدار گرمایی است که يك پوند (۴۵۳ گرم) آب را از دمای 63°F به 64°F برساند.

تابش (Radiation)

انتقال گرما از راه پخش امواج است که در خلأ نیز صورت می گیرد.

تبخیر (Evaporation)

عملی است که ضمن آن مایع، در اثر فرار مولکولها از سطح مایع به بخار تبدیل می‌شود.

تحول بی‌در دو (Adiabatic Process)

تحولی است که در آن گرما نه به سیستم داخل و نه از آن خارج می‌شود.

تصعید (Sublimation)

عملی است که در آن ماده، بدون آنکه از حالت مایع بگذرد، مستقیماً از جامد به گاز تبدیل می‌شود.

تعادل گرمایی (Thermal equilibrium)

حالتی است که در آن گرمای مبادله شده دستگاه برابر صفر باشد.

تئوری ذره‌ای - جنبشی ماده (Molecular-kinetic theory of matter)

تئوری است که خواص ماده (به‌ویژه گازها) را برحسب حرکت و رفتار مولکولی آنها بررسی می‌کند.

جامد (Solid)

حالتی از ماده است که در آن مولکولها نمی‌توانند آزادانه حرکت کنند و فقط می‌توانند در اطراف یک نقطه ثابت حرکت ارتعاشی داشته باشند.

حجم گاز (Valume of a gas)

فضایی است که مولکولهای گاز ضمن حرکت نامنظم خود اشغال می‌کنند.

حرکت براونی (Brownian motion)

حرکت نامنظم ذرات میکروسکوپی که در داخل یک سیال معلق باشند. علت این حرکت برخورد مولکولهای سیال با هر ذره است.

دما (Temperature)

کمیتی است که مقدار آن با انرژی جنبشی متوسط مولکولی، متناسب است.

صفر مطلق (Absolute zero)

دمایی است که در آن، فشار و انرژی جنبشی متوسط مولکولی گاز کامل، صفر می‌شود. از لحاظ نظری و عملی دمای هیچ ماده‌ای را نمی‌توان به صفر مطلق رساند.

ظرفیت گرمایی (Heat capacity)

مقدار گرمایی است که لازم است تا دمای مقدار معینی ماده را یک درجه افزایش دهد.

ظرفیت گرمایی ویژه (Specific heat)

مقدار گرمایی است که لازم است تا دمای واحد جرم یک ماده را یک درجه افزایش دهد.

کالری (Calorie)

مقدار گرمایی است که یک گرم آب را از دمای $14/5^{\circ}\text{C}$ به $15/5^{\circ}\text{C}$ برساند.

کشسانی (Elasticity)

خاصیت موادی است که هرگاه تحت تأثیر نیرویی تغییر شکل دهند، با از بین رفتن نیرو، به شکل اولیه خود باز گردند.

گاز (Gas)

حالتی از ماده است که در آن انرژی جنبشی ذره‌ها به مراتب از انرژی پتانسیل آنها بیشتر است؛ و در نتیجه ذره‌ها می‌توانند تمام فضای ظرفی را که در آن قرار دارند اشغال کنند و ماده نه حجم ثابت و نه شکل مشخص دارد.

گاز کامل (Ideal gas)

گازی است که بین مولکولهای آن مطلقاً نیروی جاذبه وجود نداشته باشد.

گرم (Heat)

صورتی از انرژی است که به انرژی جنبشی و پتانسیل ذرات جسم بستگی دارد و در اثر اختلاف دما، بین دو جسم مبادله می‌شود.

گرمای تبخیر (Heat of vaporation)

مقدار گرمایی است که باید به واحد جرم یک مایع داده شود، تا مایع در نقطه جوش خود به حالت گاز درآید.

گرمای ذوب (Heat of fusion)

مقدار گرمایی است که باید به واحد جرم یک جامد داده شود تا در نقطه ذوب خود به مایع تبدیل شود.

گرمای مولی تبخیر (Molar heat of vaporation)

مقدار گرمایی است که باید به یک مولکول گرم از یک مایع داده شود تا در نقطه جوش خود به صورت گاز درآید.

مایع (Liquid)

حالتی از ماده است که در آن مولکولها می توانند حرکت انتقالی داشته باشند. ماده در این حالت حجم ثابت دارد ولی شکل ثابتی به خود نمی گیرد و همواره به شکل ظرف خود درمی آید.

نقطه انجماد (Freezing point)

دمایی است که در آن یک مایع در فشار متعارفی به جامد تبدیل می شود.

نقطه جوش (Boiling point)

نقطه جوش متعارفی هر مایع دمایی است که در آن فشار بخار مایع، ۷۶۰ میلیمتر جیوه باشد.

نقطه ذوب (Melting point)

دمایی است که در آن، جامد و مایع یک ماده با هم به حال تعادل هستند.

نقطه سه گانه (Triple point)

دمایی است که در آن یخ، آب مایع و بخار آب، هر سه به حال تعادل وجود دارند. این حالت تنها در یک فشار مشخص به دست می آید و یگانه است.

نیروی بین مولکولی (Intermolecular force)

نیرویی است که مولکولها برهم وارد می کنند تا کنار هم بمانند.

نیروی هسته ای (Nuclear force)

نیرویی است بسیار قوی که تنها در فواصل خیلی کوتاه حدود قطر اتم مؤثر است و ذره های درون هسته را نزدیک یکدیگر نگاه می دارد.

هدایت (Conduction)

انتقال گرما از راه مولکول به مولکول است که بیشتر در جامدات صورت می گیرد.

همرفت (Convection)

انتقال گرما در داخل یک سیال از راه جابه جا شدن توده های سیال است.

مآخذ

درتألیف این کتاب از منابع زیر استفاده شده است:

۱- فارسی

دکتر روشن، ا. ترمودینامیک (۳ ج). دانشگاه تهران
 دکتر سیروس ضیاء، جعفر. حرارت و ترمودینامیک. دانشگاه تهران
 مستشاری، عبدالجلیل. حالات متراکم ماده. دانشگاه آزاد ایران
 مستشاری، عبدالجلیل. حالت گازی ماده، اتمسفر. دانشگاه آزاد ایران
 سیرز، زیمانسکی. فیزیک دانشگاهی. ترجمه فضل الله فروتن؛ دانشگاه علم و صنعت

۲- انگلیسی

D. Halliday, Fundamentals of Physiecs.

Williams, Trinklein, Metcalfe, and Lefter. Modern physics.

از این مجموعه منتشر شده است:

* فیزیک و نام آوران آن

تألیف اسفندیار معتمدی

* الکتروستاتیک ساکن

تألیف محمدعلی پزیشپور

* در قلمرو مکانیک / کتاب اول / دینامیک

ترجمه هوشنگ شریف زاده

* در قلمرو مکانیک / کتاب دوم / استاتیک

ترجمه هوشنگ شریف زاده

گرما، به این سبب که انسان همواره برای آسانتر کردن زندگی خود به آن نیازمند بوده است، از دیرباز مورد توجه و پژوهش قرار گرفته است. نزدیک به چهارصد سال پیش که فیزیک به صورت علمی مستقل درآمد و از فلسفه جدا شد، نخست گرما و سپس ترمودینامیک در شمار بخشهای عمده این علم درآمدند. در فیزیک نوین نیز بررسی در باره گرما دنبال شده است.

کتاب گرما و آمار آن نخست به بحث در زمینه ماهیت گرما و دما و اندازه گیری هریک از آنها می پردازد و سپس از ماده و حالت های گوناگون آن و اثر انرژی گرمایی بر ماده و قانونها و رابطه های آنها سخن می گوید. سرانجام، تبدیل گرما و کار به یکدیگر مورد بحث قرار گرفته است.

کتاب نکته های لازم در باره این بخش از علم فیزیک را به صورتی خودآموز به بهره گیران از آن می آموزد. پرسشها و مسئله هایی که در پایان هر فصل از کتاب آمده است وسیله ای است مؤثر برای خودآزمایی فراگرفته ها و رسیدن به این توانایی که راه حل هر گونه مسئله و پاسخ هر گونه پرسش تستی یا تشریحی را در این زمینه بیابد و در آزمونهای این رشته در درجه ممتاز پذیرفته شوند.

تجلیت دانش حسن کتابهای آموزشی مؤسسه انتشارات فاطمی. به رودی کتابهای دیگری در زمینه های گوناگون علمی انتشارت داده اند.