

## فیزیک ۱۰ فصل اول: فیزیک و اندازه‌گیری

توب، یک کره کامل نیست (درزها و برجستگی‌هایی روی توب وجود دارد) و در حی حرکت به دور خود می‌چرخد، باد و مقاومت هوا بر حرکت آن اثر می‌گذارند. وزن توب با تغییر فاصله آن از مرکز زمی تغییر می‌کند. اگر بخواهیم تمام این موارد را هنگام بررسی و تحلیل حرکت توب در نظر بگیریم، تحلیل ما پیچیده خواهد شد. با مدلسازی حرکت توب، می‌توانیم تا حدود زیادی این پیچیدگی‌ها را کاهش دهیم و بررسی و تحلیل حرکت توب را به طور ساده، امکانپذیر سازیم.

توجه داریم هنگام مدلسازی یک پدیده فیزیکی، باید اثرهای جزئی‌تر را نادیده بگیریم نه اثرهای مهم و تعییه کننده را. برای مثال، اگر به جای مقاومت هوا، نیروی جاذبه زمین را نادیده می‌گرفتیم، آن‌گاه مدل ما پیش‌بینی می‌کرد که وقتی توپی به بالا پرتاب شود در یک خط مستقیم بالا می‌رود!

برای بیان برخی از کمیت‌های فیزیکی، تنها از یک عدد و یکای مناسب آن استفاده می‌شود. این گونه کمیت‌ها، **کمیت‌نرده‌ای** نامیده می‌شوند.

برای بیان برخی دیگر از کمیت‌های فیزیکی، افزون بر یک عدد و یکای مناسب آن، لازم است به جهت آن نیز اشاره کنیم. این دسته از کمیت‌ها را، **کمیت برداری** می‌نامند.

برای انجام اندازه‌گیری‌های درست و قابل اطمینان به یکاهای اندازه‌گیری‌ای نیاز دائم که **تغییر نکند** و دارای قابلیت **بازتولید** در مکان‌های مختلف باشند.

**طول:** به لحاظ تاریخی، در اوخر قرن هجدهم، یکای طول (متر) به صورت یک ده میلیونیم فاصله استوآتا قطب شمال تعییف شد. تا سال ۱۹۶۰ میلادی، فاصله میان دو خط نازک حکشده در نزدیکی دو سر میله‌ای از جنس پلاتین - ایریدیوم، وقتی میله در دمای صفر درج سلسیوس قرار داشت، برابر یک متر تعریف شده بود. بنابر آخرین توافق جهانی مجمع عمومی وزن‌ها و مقیاس‌ها در سال ۱۹۸۳ میلادی، یک متر برابر مسافتی تعریف شد که نور در مدت زمان  $\frac{1}{299792458}$  ثانیه در خلاء طی می‌کند. این تعریف، تخصصی است و برای اندازه‌گیری‌های بسیار دقیق به کار می‌رود.

**جرم:** یکای جرم در SI، کیلوگرم (kg) نامیده می‌شود و به صورت جرم استوانه‌ای فلزی از جنس آلیاژ پلاتین - ایریدیوم تعریف شده است. جرم این استوانه که به دقت درون دو حباب شیشه‌ای جای گرفته، کیلوگرم استاندارد بی‌المللی است که در موزه سیور فرانسه نگه‌داری می‌شود.

**زمان:** در طول سال‌های ۱۲۶۸ تا ۱۳۴۶ ه.ش، یکای زمان، ثانیه (s) به صورت  $\frac{1}{86400}$  میانگین روز خورشیدی تعریف می‌شد.

## فصل ۱۰: حالت ماده

جامدهایی را که در یک الگوی سه بعدی تکرار شونده از این واحدهای منظم ساخته می شود جامد بلورین می نامیم. فلزها، نمک‌ها، الماس، یخ و بیشتر مواد معدنی جزو جامدهای بلوری‌اند. وقتی مایعی را به آهستگی سرد کنیم اغلب جامدهای بلورین تشکیل می‌شوند. در این فرایند سردسازی آرام، ذرات سازنده مایع فرصت کافی دارند تا در طرح‌های منظم خود را مرتب کنند.

ذرات سازنده **جامدهای بی‌شکل (آمُورف)** برخلاف جامدهای بلورین، در طرح‌های منظمی کنار هم قرار ندارند. وقتی مایعی به سرعت سرد شود معمولاً جامد بی‌شکل به وجود می‌آید. در این فرایند سردسازی سریع، ذرات فرصت کافی ندارند تا در طرحی منظم، مرتب شوند. بنابراین در طرح نامنظمی که در حالت مایع داشتند باقی می‌مانند. شیشه، مثالی از یک جامد بی‌شکل است.

**مایع:** مولکول‌های مایع نظم و تقارن جامدهای بلورین را ندارند و به صورت نامنظم و نزدیک به یکدیگر قرار گرفته‌اند. مایع به راحتی جاری می‌شود و به شکل ظرف خودش درمی‌آید. فاصله ذرات سازنده مایع و جامد تقریباً یکسان و در حدود یک آنگستروم است.

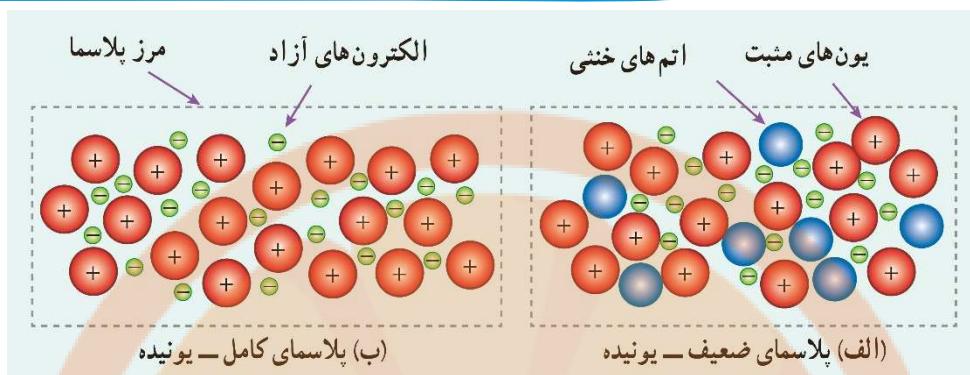
**پدیده پخش در مایع‌ها:** اگر مقداری نمک را در یک لیون آب بريزید، پس از مدتی آب، سور می‌شود. اگر چند قطره جوهر را به آب درون لیوانی اضافه کنید، به تدریج رنگ آب تغییر می‌کند. تجربه‌های ساده‌ای مانند این، نشان می‌دهند که ذرات سازنده نمک و جوهر در آب درون لیوان پخش شده‌اند. دلیل پخش ذرات نمک و جوهر در آب، به حرکت مولکول‌های آب مربوط می‌شود. در واقع به دلیل حرکت‌های نامنظم و کاتورهای (تصادفی) مولکول‌های آب و برخورد آنها با ذرات سازنده نمک و جوهر، این گونه مواد در آب پخش می‌شوند.

**گاز:** ماده‌ای است که شکل مشخصی ندارد. اتم‌ها و مولکول‌های آن آزادانه و با تنگی بسیار زیاد به اطراف حرکت و با یکدیگر و با دیوارهای ظرفی که در آن قرار دارند برخورد می‌کنند. فاصله میانگین مولکول‌های گاز در مقایسه با اندازه آنها، خیلی بیشتر است. مثلاً اندازه مولکول‌های هوا بین ۱ تا ۳ آنگستروم است در حالی که فاصله میانگین آنها

در شرایط معمولی در حدود  $35 \text{ \AA}$  است.

حرکت نامنظم ذرات را **براؤنی** می‌گویند.

اگر این مطلب را زیر نور لامپ مهتابی می‌خوانید برای یافته پلاسمما لازم نیست راه دوری بروید. ماده داخل لوله تابان لامپ مهتابی، پلاسماست. وقتی گازی تا دماهای خیلی زیاد (چندی هزار درجه سلسیوس به بالا) گرم شود، یک یا چند الکترون از هر اتم آزاد می‌شود. ماده حاصل، مجموعه ای از الکترون‌های آزاد، یون‌ها و اتم‌های خنثی خواهد بود. این حالت یونیده و شبکه‌خنثای ماده، که حاوی مقادیر مساوی از بارهای مثبت و منفی است، پلاسمما نامیده می‌شود که معمولاً از آن به عنوان حالت چهارم ماده نیز یاد می‌کنند (شکل‌های الف و ب)



قسمت عمده‌ای از جهان قابل مشاهده، از پلاسما تشکیل شده است. خورشید، ستارگان و بیشتر فضای بین ستاره‌ای، برخی از لایه‌های بالایی جو زمین، آذرخش، شفقهای قطبی و شعله‌های آتش از جنس پلاسما هستند. پلاسما به طور طبیعی روی زمی به ندرت یافت می‌شود. در انفجارهای هسته‌ای، راکتورهای گداخت هسته‌ای و ... پلاسما را می‌توان به طور مصنوعی ایجاد کرد.

افزون بر اینها پلاسمای درون لامپ‌های نئون و مهتابی (حاوی گازهای جیوه و آرگون)، که بر اثر تخلیه الکتریکی تابش می‌کند، سا لهاست به عنوان چشممه‌های نور در زندگی روزمره ما به کار می‌روند.

پلاسما، بر خلاف گاز، رسانای بسیار خوب الکتریسیته و گرماست. بی ذرات پلاسما نیروی الکتریکی وجود دارد. ماهیت بلند برُد بودن ای نیرو، در رفتار پلاسما نقش مهمی ایفا می‌کند. توجه به ویژگی‌های خاص پلاسما و بهره‌مندی از آن، سبب کاربردهای فراوانی در صنعت، فناوری، پزشکی، دندانپزشکی و شده است. از جمله ای کاربردها می‌توان به نمایشگرهای صفحه تخت، ابزارهای جوش، برش و سوراخ‌کاری، چشممه‌های نور و مبدل‌های انرژی، سوزن‌های پلاسمایی و ... اشاره کرد.

علم نانو یکی از شاخه‌های جدید علوم است که به دلیل تأثیر شگرفی که در فناوری ایفا می‌کند از توجه روزافزونی در دنیای امروز برخوردار است. ویژگی‌های فیزیکی مواد در مقیاس نانو، به طور قابل توجهی تغییر می‌کند.

مثلاً نقطه ذوب طلا را می‌توان در هر کتاب مرجع مربوط به فلزها پیدا کرد و دستی آن را با قرار دادن یک قطعه طلا در کوره‌ای با دمای بالا تأیید کرد. وقتی دما به  $104^{\circ}\text{C}$  می‌رسد طلای جامد تغییر حالت می‌دهد و به شکل توده‌ای از طلای مایع درمی‌آید. اگر این آزمایش را دوباره انجام دهیم، ولی به جای یک قطعه بزرگ طلا، که می‌توانیم آن را ببینیم و به راحتی لمس کنیم، قطعه‌ای را که قطر آن تنها چند نانومتر ( $1 \times 10^{-9}\text{ m} = 1\text{ nm}$ ) است در کوره بگذاریم و ذوب کنیم (بدیهی است برای انجام این کار به تجهیزات و روش‌های خاص نیاز داریم، اما شدنی است) با شگفتی درمی‌یابیم که دمای ذوب طلا فقط  $427^{\circ}\text{C}$  است.

دمای ذوب ذره‌های طلا در مقیاس نانو، تفاوت زیادی با دمای ذوب طلا در اندازه‌های معمولی دارد.

ویژگی‌های فیزیکی مواد از قبیل: نقطه ذوب، رسانندگی الکتریکی و گرمایی، شفافیت، استحکام، رنگ و... اغلب می‌تواند به طور چشمگیری در مقیاس نانو تغییر کند. فناوری نانو در واقع از ویژگی‌های خاصی از مواد بهره‌برداری می‌کند که در مقیاس نانو تغییر می‌کنند. لازم نیست که همه ابعاد یک ماده در مقیاس نانو باشند. برای نمونه، یک نانو ذره (مانند ذره‌های کوچک طلا با دمای ذوب کم که پیش از این توصیف شدند) در هر سه بعد کوچک است، اما اگر صرفاً یک بعد ماده‌ای را در مقیاس نانو محدود کنیم در این صورت یک نانولایه داریم که لایه‌ای به ضخامت نانو مقیاس است. آزمایش نشان می‌دهد که ویژگی‌های فیزیکی نانولایه‌ها نیز همچون نانو ذره‌ها، به طور قابل توجهی تغییر می‌کند. برای مثال، آلومینیم یکی از رساناهای بسیار خوب جریان الکتریکی است. سطح آلومینیم، چه به صورت سیم، قوطی نوشابه یا بال هوایپیما باشد، در مجاورت هوا به آلومینیم اکسید تبدیل می‌شود. از آنجا که آلومینیم اکسید، عایق بسیار خوبی است و رسانای الکتریسیته نیست پس چرا وقتی دو سیم آلومینیمی را مطابق شکل رو به رو به هم وصل می‌کنیم، جریان الکتریکی از یک سیم به سیم دیگر جریان می‌یابد؟ برای پاسخ به این پرسش باید به ضخامت لایه‌ای توجه کنیم که روی سطح آلومینیم تشکیل می‌شود. بررسی‌های تجربی نشان می‌دهند که وقتی قطعه‌ای آلومینیمی در مجاورت هوا قرار می‌گیرد لایه‌ای بسیار نازک از اکسید آلومینیم روی سطح آن تشکیل می‌شود که ضخامت آن از مرتبه نانومتر است. در این مقیاس، ویژگی‌های الکتریکی اکسید آلومینیم تغییر می‌کند و به یک رسانا تبدیل می‌شود. بنابراین هنگام اتصال دو سیم آلومینیمی، الکترون‌ها به طور آزادانه از یک سیم به سیم دیگر می‌روند.

ویژگی‌های فیزیکی مواد در مقیاس ثانویه به طور قابل توجهی تغییر می‌کند نانو یعنی کوتوله)

دمای ذوب ذره‌های طلا در مقیاس نانو تفاوت زیادی با دمای ذوب طلا در اندازه‌های معمولی دارد.

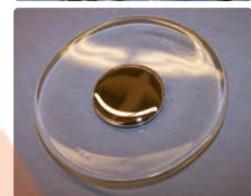
ویژگی فیزیکی تمام مواد جامد، مایع و گاز در مقیاس نانو تغییر می‌کند حتی اگر فقط یکی از ابعاد مواد را در مقیاس نانو بررسی کنیم باز هم تغییر دارد.

**کشش سطحی:** نشستن یا راه رفتن برخی حشره‌ها روی سطح آب، شناور ماندن گیره فلزی کاغذی روی سطح آب و تشکیل حباب‌های آب و صابون تنها نمونه‌هایی از وجود کشش سطحی هستند. کشش سطحی ناشی از هم‌چسبی مولکول‌های سطح مایع است و آن را می‌توان با نیروهای بین مولکولی توضیح داد. به دلیل نیروهای رباءشی که مولکول‌های سطح مایع به یکدیگر وارد می‌کنند سطح مایع شبیه یک پوسته تحت کشش رفتار می‌کند و کشش سطحی روی می‌دهد. با کشش سطحی همچنین می‌توان توضیح داد که چرا قطره‌های که آزادانه سقوط می‌کنند تقریباً کروی‌اند. به ازای حجمی معین، کره نسبت به هر شکل هندسی دیگری، کوچک‌ترین مساحت سطح را دارد. به این ترتیب سطح قطره‌ای که آزادانه سقوط می‌کند مانند یک پوسته کشیده شده، تمایل به کمینه کردن مساحت‌ش را دارد.

نیروی بین مولکول‌های همسان مانند مولکول‌های آب را **هم‌چسبی** می‌گویند.

ترشوندگی: دیدیم که نیروی همچسبی بین مولکول‌های یک ماده سبب بروز پدیده‌های جالبی می‌شود. هنگامی که دو ماده مختلف در تماس با یکدیگر قرار گیرند نیز جاذبه مولکولی مشابهی بین مولکول‌های آنها هستند. تفاوت آنها در این است که همچسبی، جذبه بین مولکول‌های همسان و دگرچسبی جاذبه بین مولکول‌های ناهمسان است.

هر گاه مایع در تماس با جامدی قرار گیرد دو حالت می‌تواند رخ دهد. یکی اینکه دگرچسبی مولکول‌های مایع و جامد از هم چسبی بین مولکول‌های مایع بیشتر باشد. در این صورت می‌گوییم مایع، جامد را تر یا خیس می‌کند. مثلاً در شکل (الف) می‌بینیم که آب، سطح شیشه تمیز را خیس کرده و روی آن پهن شده است. اما اگر نیروی همچسبی بین مولکول‌های مایع از نیروی دگرچسبی بیشتر باشد مولکول‌های مایع و جامد بیشتر باشد می‌گوییم مایع جامد را تر نمی‌کند. در شکل (ب) می‌بینیم که سطح شیشه با جیوه خیس نشده و جیوه به شکل قطره روی سطح شیشه باقی مانده است (هر چه قطره بزرگ‌تر باشد نیروی گرانش زمین، آن را تخت‌تر می‌کند).



الف) پخش آب روی سطح  
شیشه (ب) قطره‌ای شدن  
جیوه روی سطح شیشه

**اثر مویینگی:** لوله‌ایی که قطر داخلی آنها حدود یک دهم میلی‌متر ( $1\text{ mm}/\text{~}\text{m}$ ) باشد، معمولاً لوله مویین نامیده می‌شوند.

$$P - P_0 = \rho gh$$

در رابطه اخیر فشار  $P$  را **فشار مطلق** و  $P_0$  را **فشار پیمانه‌ای** می‌نامند. ارشمیدس دانشمند یونانی دوران باستان، نخستین کسی بود که پی‌برد به جسم‌های درون یک شاره یا غوطه‌ور در آن، همواره نیروی بالاسوی خالصی به نام **نیروی شناوری** از طرف شاره وارد می‌شود. یک مثال عملی از کاربرد اصل برنولی در لوله کشی ساختمان، در شکل زیر نشان داده شده است. ابتدا فرض کنید لوله هواکش در نظر گرفته نشده باشد (شکل الف) جمع شدن آب در زانویی زیر ظرف شویی، مشابه یک درپوش عمل می‌کند. ای درپوش، مانع از آن می‌شود که گاز تولید شده در لوله فاضلاب، از خروجی چاهک ظرف شویی بالا آمده و وارد آشپزخانه شود. اما وقتی ماشی لباس شویی آب حاصل از شست و شو را به درون لوله فاضلاب تخلیه می‌کند، طبق اصل برنولی فشار در ای لوله (نقطه A) به کمتر از فشار هوا کاهش می‌یابد. از آنجا که فشار در خروجی چاهک ظرف شویی (نقطه B) برابر فشار هواست، ای اختلاف فشار، آب جمع شده در زانویی را که مشابه یک درپوش عمل می‌کند، خالی کرده و به درون لوله فاضلاب می‌ریزد. به ای ترتیب، مانع ورود گاز فاضلاب به آشپزخانه برداشته شده و ای گاز با بوی نامطبوع وارد فضای آشپزخانه می‌شود.

با اضافه کردن لوله هواکش، که با هوای بیرون ساختمان مرتبط است، ای مشکل رفع می‌شود (شکل ب) زیرا وقتی آب ماشی لباس شویی در لوله فاضلاب تخلیه می‌شود، کاهش فشار در لوله سبب می‌شود تا هوا از طریق هواکش وارد شود. ای هوای ورودی، فشار در لوله هواکش و در طرف سمت راست لوله تخلیه ظرفشویی را نزدیک به فشار جو نگه می‌دارد، به طوری که آب جمع شده در زانویی، در جای خود می‌ماند.



### فصل ۱۳ - ۵) و انرژی و توان

قانون پایستگی انرژی: در یک سامانه منزوی، مجموع کل انرژی‌ها پایسته می‌ماند. انرژی را نمی‌توان خلق یا نابود کرد و تنها می‌توان آن را از یک شکل به شکل دیگر تبدیل کرد. این بیان، که براساس آزمایش‌های بسیاری بنا شده است قانون پایستگی انرژی نامیده می‌شود و تاکنون هیچ مورد استثنایی برای آن یافته نشده است.

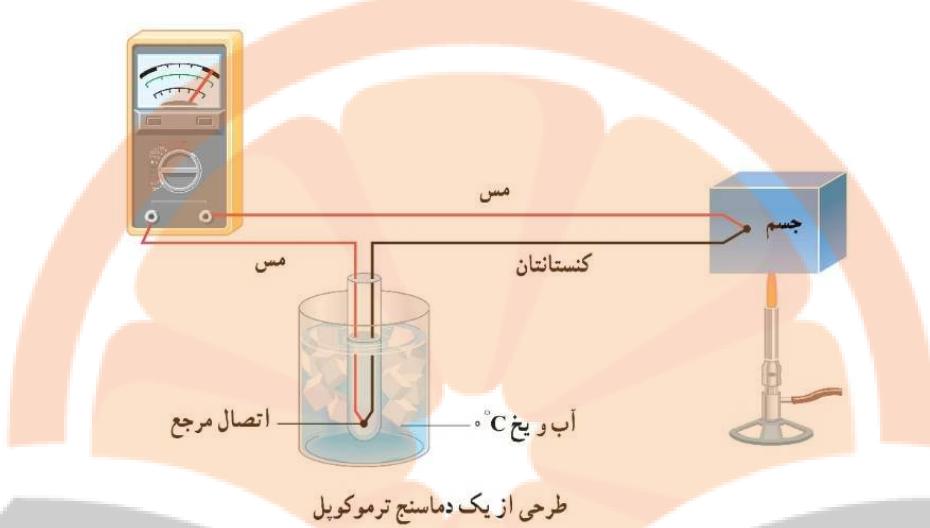
### فصل ۱۴: دما و گرما

در کتاب‌های علوم خود دیدید دما کمیتی است که میزان سردی و گرمی اجسام را مشخص می‌کند. برای اندازه‌گیری دما لازم است مقیاس دمایی داشته باشیم و برای این کار می‌توانیم از هر مشخصه قابل اندازه‌گیری بهره بگیریم که با گرمی و سردی جسم تغییر می‌کند. به این ویژگی، اصطلاحاً **كمیت دماسنجه** می‌گویند. تغییر کمیت دماسنجه، اساس کار دماسنجه است. ساده‌ترین و رایج‌ترین نوع دماسنجه، دماسنجه‌های جیوه‌ای و الکلی است که در کتاب‌های علوم با آنها آشنا شده‌اید. در این دماسنجه‌ها، کمیت دماسنجه، ارتفاع مایع درون لوله دماسنجه است؛ زیرا به جز چند مورد استثنای تمام مواد با افزایش دما، منبسط و با کاهش آن منقبض می‌شوند.

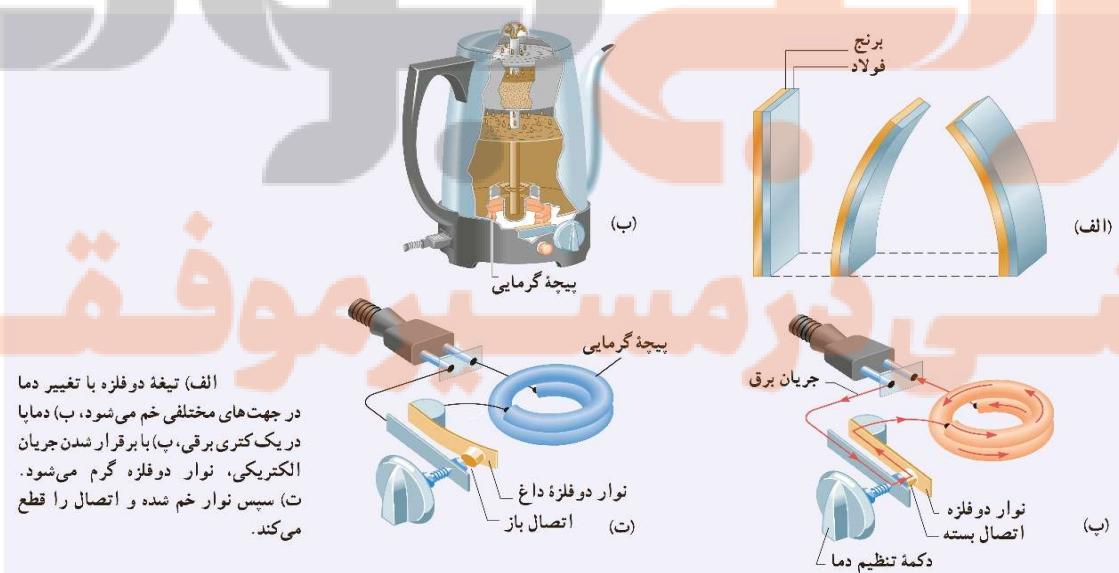
دانشمندان برای کارهای علمی، سه دماسنجه را به عنوان دماسنجه‌های معیار برای اندازه‌گیری گستره دماهای مختلف پذیرفته‌اند: دماسنجه گازی، دماسنجه مقاومت پلاتینی و تفسنج (پیرومتر).

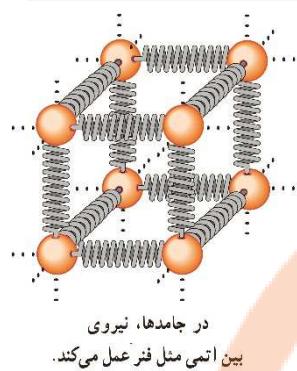
یکی از دماسنجه‌های مهم دیگر دماسنجه‌های معیار شمرده می‌شد، دماسنجه ترموموکوپل است که به دلیل دقت کمتر آن نسبت به دماسنجه‌های بیان شده، از مجموعه دماسنجه‌های معیار گذاشته شد؛ ولی این دماسنجه همچنان کاربرد

فراوانی در صنعت و آزمایشگاهها دارد. از این‌رو، در ادامه به معرفی این دماسنج می‌پردازیم. کمیت دماسنجی این دماسنج، ولتاژ است.



**دمایا (ترموستات):** در دماسنج نواری دوفلزه دیدیم که یک نوار دوفلزه با افزایش یا کاهش دما خم می‌شود. این خم‌شدگی طوری است که در هنگام گرمشدن، تیغه با ضربه انساط بیشتر، کمان خارجی و تیغه دیگر کمان داخلی را تشکیل می‌دهد (**شکل الف**) از این ویژگی برای ساخت نوعی دمایا (ترموستات) استفاده می‌شود. دمایاها در بسیاری از وسایل الکتریکی مانند یخچال، آبگرمکن، کتری برقی و ... کاربرد دارند (**شکل ب**) در واقع دمایا کلیدی الکتریکی است که در آن، قطع و وصل جریان با استفاده از حسگرهای گرمایی انجام می‌شود. اغلب از نوارهای دوفلزه به عنوان حسگرهای گرمایی در دمایا استفاده می‌شود. در مدار ساده نشان داده شده در **شکل پ** عبور جریان الکتریکی از کتری برقی باعث گرم شدن نوار دوفلزه می‌شود. وقتی دمای نوار به اندازه معینی برسد، بر اثر خم شدن نوار، جریان قطع شده و کتری برقی خاموش می‌شود (**شکل ت**) با خاموش شدن کتری، دمای تیغه کاهش می‌یابد و نوار دوباره به شکل وضعیت قبلی خود بازمی‌گردد و به این ترتیب، دوباره مدار وصل شده و کتری برقی روش می‌شود.





توجهیه انبساط گرمایی، مبتنی بر دیدگاه میکروسکوپی است. انبساط گرمایی یک جسم پیامد تغییر فاصله بی اتم‌ها یا مولکول‌های تشکیل دهنده آن است. برای درک این مدل، چگونگی رفتار اتم‌ها در یک ماده جامد را درنظر بگیرید. همانگونه که در فصل ۳ دیدیم، می‌توان اتم‌ها را ذراتی درنظر گرفت که با فنرهایی به اتم‌های مجاور متصل شده‌اند (**شکل**)، اتم‌ها پیرامون مکان‌های تعادل خود با دامنه کم، نوسان می‌کنند. می‌توان نشان داد با افزایش دمای جامد، فاصله متوسط بی اتم‌ها افزایش می‌یابد و در نتیجه، جسم جامد منبسط می‌شود.

رفتار غیرعادی آب در محدوده  $0^{\circ}\text{C}$  تا  $4^{\circ}\text{C}$  دیده می‌شود. همان‌طور که در این شکل‌ها نشان داده است، در بازه دمای  $0^{\circ}\text{C}$  تا  $4^{\circ}\text{C}$  با افزایش دما، حجم آب کاهش و چگالی آن افزایش می‌یابد. پس از دمای  $4^{\circ}\text{C}$  مانند دیگر اجسام، با افزایش دما، حجم افزایش و چگالی کاهش می‌یابد. همین تغییر حجم غیرعادی آب است که موجب می‌شود دریاچه‌ها به جای اینکه از پایین به بالا بخ‌بزنند، از بالا بخ‌بزنند. وقتی دمای سطح آب مثلاً از  $0^{\circ}\text{C}$  اندکی کمتر شود، چگالی آب نسبت به آب زیر خود افزایش می‌یابد و این آب، پایین می‌رود. این رفتار تا رسیدن به دمای  $4^{\circ}\text{C}$  ادامه می‌یابد؛ ولی همان‌طور که دیدیم در دمای پایی تر از  $4^{\circ}\text{C}$ ، حجم آب افزایش پیدا می‌کند و در نتیجه چگالی آن کاهش می‌یابد؛ یعنی سرد شدن بیشتر آب موجب می‌شود که چگالی آب سطح دریاچه نسبت به آب زیر آن کمتر شود و در نتیجه در سطح باقی بماند تا اینکه بخ‌بزند.

همان‌طور که در درس علوم دوره اوّل متوسطه دیدیم، اگر آب خیلی سرد را در لیوان بربیزیم و سپس این لیوان را روی میز اتاق بگذاریم، آب گرم می‌شود تا اینکه به دمای هوای اتاق برسد. به همین ترتیب، اگر آب داغ را در لیوان بربیزیم و لیوان را روی میز بگذاریم، آب خنک می‌شود تا اینکه به دمای هوای اتاق برسد. این گرم‌تر یا سردتر شدن در ابتدا به سرعت رخ می‌دهد و سپس با آهنگ کنتری ادامه می‌یابد تا اینکه دمای آب با دمای اتاق یکسان گردد. در این حالت که آب، لیوان و هوای اتاق در دمای یکسانی هستند، اصطلاحاً می‌گوییم **تعادل گرمایی** حاصل شده است.

در حالت کلی هر گاه جسمی با دمای بیشتر در تماس گرمایی با جسمی با دمای کمتر قرار گیرد، بر اثر اختلاف دمای دو جسم، انرژی از جسم گرم‌تر به جسم سرdetر منتقل می‌شود. به این انرژی انتقال یافته بر اثر اختلاف دمای دو جسم، گرما گفته می‌شود.



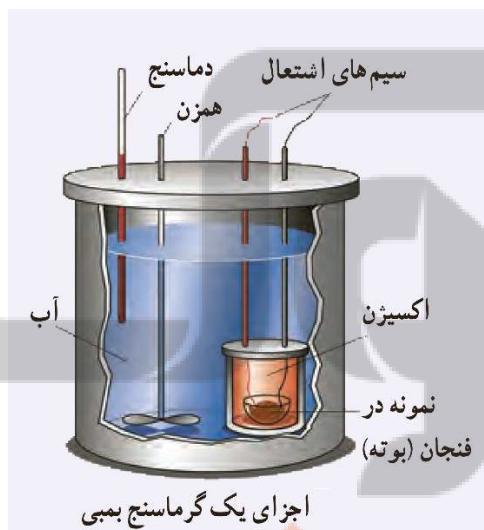


وقتی دو جسم با دمای متفاوت را در تماس بایکدیگر قرار می‌دهیم، انرژی از جسم گرم به جسم سرد، منتقل می‌شود. با رسیدن به تعادل گرمایی، دیگر گرمایی منتقل نمی‌شود.

وقتی می‌گوییم ظرفیت گرمایی یک جسم  $K/J\cdot^{\circ}C$  است، یعنی اگر به آن جسم  $2000\text{ جرم}$  بدهیم، دمای آن  $1^{\circ}C$  افزایش پیدا می‌کند. توجه کنید که منظور از ظرفیت، این نیست که جسم، توانایی محدودی در مبادله گرما دارد؛ بلکه تا وقتی که اختلاف دما باشد، مبادله گرما ادامه می‌یابد.

**گرمای ویژه:** تجربه نشان می‌دهد ظرفیت گرمایی اجسامی که از یک نوع ماده ساخته شده‌اند متناسب با جرم آنهاست. بنابراین، مناسب‌تر آن است که ظرفیت گرمایی واحد جرم اجسام را تعریف کنیم که به آن ظرفیت گرمایی ویژه یا به سادگی **گرمای ویژه** می‌گویند. گرمای ویژه هر جسم، مقدار گرمایی است که باید به یک کیلوگرم از آن جسم داده شود تا دمای آن یک درجه سلسیوس (یا یک کلوین) افزایش یابد.

**گرماسنج و گرماسنجی:** گرماسنج که به آن کالری‌متر نیز می‌گویند شامل ظرفی است در پوشش دار که به خوبی عایق‌بندی گرمایی شده است. این ظرف در آزمایش‌های گرماسنجی مانند تعیین گرمای ویژه اجسام، به کار می‌رود.

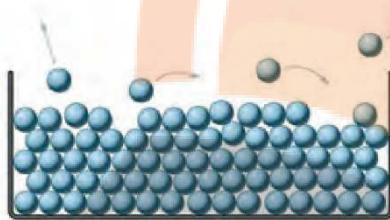


**گرماسنج بمبی:** گرماسنج بمبی نوعی گرماسنج است که از آن برای تعییں ارزش غذایی مواد با اندازه گیری انرژی آزاد شده آنها در حی سوخته استفاده می‌شود. نمونه‌ای که جرم آن به دقت اندازه گیری شده است در ظرف سربسته‌ای که محتوی اکسیژن است (که اصطلاحاً به آن بمب گفته می‌شود) قرار داده می‌شود (شکل). سپس این محفظه در آب یک گرماسنج قرار داده می‌شود و توسط جریان الکتریکی عبوری از یک سیم نازک، نمونه داخل آن سوزانده می‌شود. با اندازه گیری تغییر دمای آب، انرژی حاصل از احتراق ماده مورد نظر را به دست می‌آورند که تقریباً معادل انرژی آزاد شده از آن ماده است.

**تغیر حالت جامد - مایع:** دیدیم که اگر به جسم جامدی گرما دهیم، دمای آن افزایش می‌یابد. اگر عمل گرما دادن را برای جامدات خالص و بلوری ادامه دهیم، وقتی دمای جسم به مقدار مشخصی برسد، افزایش دما متوقف می‌شود و دما ثابت باقی می‌ماند. در این حالت، جسم شروع به ذوب شدن می‌کند و به مایع تبدیل می‌شود. این دمای ثابت را **نقطه ذوب** یا دمای گذار جامد به مایع می‌نامند که به جنس جسم و فشار وارد بر آن بستگی دارد. به استثنای چند

مورد خاص، حجم جامد های بلوری هنگام ذوب شدن افزایش می یابد؛ زیرا حجمی که بلور با آرایش منظم مولکو لها در حالت جامد اشغال می کند، نسبت به این حجم در حالت مایع که آرایش مولکولی نامنظمی دارد، کمتر است. برخلاف جامد های خالص و بلورین، جامد های بی شکل مانند شیشه و جامد های ناخالصی مانند قیر نقطه ذوب کاملاً مشخصی ندارند. در واقع وقتی این مواد را گرم می کنیم، پیش از ذوب شدن خمیری شکل می شوند. این مواد در گسترهای از دما به تدریج ذوب می شوند.

معمولًا افزایش فشار وارد بر جسم سبب بالا رفته نقطه ذوب جسم می شود. اما در برخی مواد مانند یخ، افزایش فشار به کاهش نقطه ذوب می انجامد که این در مورد یخ بسیار ناچیز است.



در حین تبخیر سطحی،  
مولکول های پرانژی تر از سطح مایع  
می گریزند.

**تغیر حالت مایع - بخار:** دیدیم که به تبدیل مایع به بخار تبخیر می گویند. خشک شدن لباس خیسی که روی بند رخت آویخته شده است، یا خشک شدن سریع یک زمی خیس در هوای گرم تابستان مثال هایی از نوعی تبخیر هستند که به آن **تبخیر سطحی** گفته می شود. تا پیش از رسیدن به نقطه جوش مایع، تبخیر به طور پیوسته ای از سطح مایع رخ می دهد.

در جوشیدن، کل مایع در فرایند تبخیر شرکت می کند. به فرایند تبخیر تا پیش از رسیدن به نقطه جوش، تبخیر سطحی و به فرایند تبخیر در نقطه جوش، اصطلاحاً جوشیدن می گویند، در حالی که هر دو فرایند، تبخیرند.

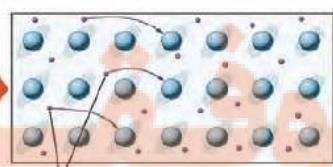
**رسانش گرمایی:** بسیاری از ما این تجربه را داریم که انتهای قاشق فلزی درون ظرف غذای روی اجاق روشن را با دست گرفته و داغی آن را احساس کرده ایم. اما همچنین دیده ایم اجسامی دیگر مانند شیشه، چوب و ... نیز

می توانند گرما را تا حدودی انتقال دهند. رسانش گرمایی در این اجسام، به دلیل ارتعاش اتم ها و گسترش این ارتعاش ها در طول آنهاست. (**شکل**) به جهت نبود الکترون های آزاد، این اجسام رساناهای گرمایی خوبی نیستند. به همین دلیل از برخی از این مواد در دیوارها و سقف بنایها استفاده می کنند تا حتی الامکان از خروج گرما در زمستان و ورود آن در تابستان جلوگیری کنند.



در نافرازات گرمایی از طریق ارتعاش اتم ها انتقال می یابد. در شکل، این انتقال ارتعاشات توسط فرآنها شبیه سازی شده است.

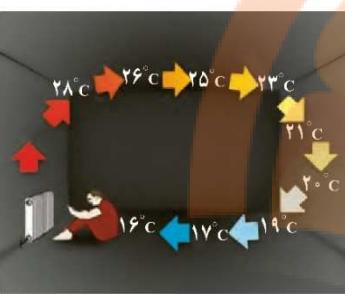
اما در فلزات افزون بر ارتعاش های اتمی، الکترون های آزاد نیز در انتقال گرما نقش دارند. بنابراین، نسبت به سایر اجسام، رساناهای گرمایی بسیار بهتری هستند. در واقع چون الکترون ها بسیار کوچک اند و به سرعت حرکت می کنند با برخورد با سایر الکترون ها و اتم ها سبب رسانش گرما می شوند. (**شکل**) بنابراین، در رساناهای فلزی سهم الکترون های آزاد در رسانش گرما بیشتر از اتم هاست.



الکترون های آزاد با برخورد به یکدیگر و اتم ها موجب رسانش بهتری برای گرما می شوند.

انتقال گرما در مایعات و گازها که معمولاً رساناهای گرمایی خوبی نیستند عمدتاً به روش همفت، یعنی همراه با جابه‌جایی بخشی از خود ماده، انجام می‌گیرد. همان‌طور که در کتاب علوم هشتم دیدید این پدیده بر اثر کاهش چگالی شاره با افزایش دما صورت می‌گیرد. انتقال گرما به روش همفت را می‌توان به سادگی با انجام آزمایش نمایش داد.

همرفت می‌تواند در همه شاره‌ها، چه مایع و چه گاز، به وقوع بپیوندد. در همرفت، برخلاف رسانش گرمایی، انتقال گرما با انتقال بخش‌هایی از خود ماده صورت می‌گیرد و وقتی شاره در تماس با جسمی گرم‌تر از خود قرار گیرد، فاصله متوسط مولکول‌ها در بخشی از شاره که در تماس با جسم گرم است، افزایش می‌یابد؛ بدین ترتیب حجم آن زیاد می‌شود، در نتیجه چگالی این قسمت از شاره کاهش می‌یابد؛ چون اکنون چگالی این اشاره انساط یافته کمتر از شاره سردتر اطراف خود است. نیروی شناوری (بنا به اصل ارشمیدس) موجب بالا رفتن آن می‌شود. آن‌گاه مقداری از شاره سردتر اطراف آن، جایگزین شاره گرم‌تر می‌شود که بالا رفته است و این فرایند به همین ترتیب ادامه می‌یابد. گرم شدن آب درون قابلمه، جریان‌های باد بخاری و رادیاتور شوفاژ (**شکل**)، گرم شدن آب درون قابلمه، جریان‌های باد ساحلی، انتقال گرما از مرکز خورشید به سطح آن و ... همگی بر اثر پدیده همرفت رخ می‌دهند. همه این مثال‌ها نمونه‌هایی از **hemerft طبیعی** است.



گرم شدن هوای اتاق به روش همرفت

نوع دیگری از همرفت، همرفت واداشته است که در آن شاره به کمک یکت تلمبه (طبیعی یا مصنوعی) به حرکت واداشته می‌شود تا با این حرکت، انتقال گرما صورت پذیرد. سیستم گرم‌کننده مرکزی در ساختمان‌ها، سیستم خنک‌کننده موتور اتومبیل و نیز گرم و سرد شدن بخش‌های مختلف بدن بر اثر گردش جریان خود، در بدن جانوران خونگرم مثال‌های عینی از انتقال گرما به روش همرفت واداشته هستند.

در واقع هر جسم در هر دمایی تابش الکترومغناطیسی گسیل می‌کند. به این نوع تابش، تابش گرمایی می‌گویند. نشان داده می‌شود که تابش گرمایی در دماهای زیر حدود  $50^{\circ}\text{C}$  عمدهاً به صورت تابش فروسرخ است که نامرئی است. برای آشکارسازی تابش‌های فروسرخ از ابزاری موسوم به **دمانگار** استفاده می‌کنیم و به تصویر به دست آمده از آن **دمانگاشت** می‌گوییم.

**الف) شکار تابش فروسرخ:** نوعی از مارهای زنگی اندام‌هایی حفره‌ای بر روی پوزه خود دارند که نسبت به تابش فروسرخ حساس‌اند. این مارها اغلب در سیاهی شب شکار می‌کنند. در واقع اندام‌های حفره‌ای به آنها کمک می‌کند که طعمه‌های خونگرم خود را به واسطه تابش فروسرخان در تاریکی و سرمای شب مشاهده کنند.

ب) کلم اسکانک: کلم اسکانک یکی از چندین گیاهی است که می‌تواند دمایش را تا بیشتر از دمای محیط بالا ببرد. این نوع کلم به خاطر بالا رفتن دمایش، انرژی خود را از طریق تابش فروسرخ از دست می‌دهد و می‌تواند برف اطرافش را در زمستان آب کند.

از تابش گرمایی می‌توان به عنوان مبنایی برای اندازه‌گیری دمای اجسام استفاده کرد. به روش‌های اندازه‌گیری دما مبتنی بر تابش گرمایی، **تفسنچ** و به ابزارهای اندازه‌گیری دما به این روش، **تفسنچ** می‌گویند. تفسنچ برخلاف سایر دماسنچ‌ها بدون تماس با جسمی که می‌خواهیم دمای آن را اندازه بگیریم، دمای جسم را اندازه می‌گیرد.

### فصل ۵: ترمودینامیک

در طول این فرایند، دستگاه همواره بسیار نزدیک به حالت تعادل بوده و سریع به تعادل می‌رسد. چنین فرایندی را **فرایند ایستوار** می‌نامند.

در مورد گاز آرمانی می‌توان نشان داد که انرژی درونی  **فقط تابع دمای گاز است**.  
ماشین‌های گرمایی

تا حدود سه قرن پیش، انرژی مکانیکی مور دنیاز انسان به طور عمده از طریق نیروی ماهیچه‌ای انسان‌ها و حیوان‌ها تأمیم می‌شد. از نیروی حاصل از باد و جریان آب (مثلاً در آسیاب‌های بادی و آبی) نیز انرژی مکانیکی به دست می‌آمد. اما استفاده از این منابع انرژی فقط در زمان‌ها و مکان‌های خاصی امکان‌پذیر بود.

امروزه بیشتر انرژی مور دنیاز انسان از طریق ماشی نهایی گرمایی به دست می‌آید. ماشی‌ها با استفاده از برخی فرایندهای ترمودینامیکی، گرمای حاصل از سوخت را به کارتبدیل می‌کنند. از این ماشی‌ها در مواردی از قبیل لوکوموتیو، کشتی بخار، زیردریایی، خودرو، هواپیما و فضایپیما استفاده می‌شود. همچنین در نیروگاه‌ها کار حاصل از این ماشی‌ها نخست به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود و سپس از طریق شبکه برق رسانی به مکان‌های مختلف منتقل می‌گردد و از این طریق، انرژی مور دنیاز انسان در محل کار و زندگی تأمیم می‌شود.

از نظر تاریخی نخستین ماشی‌های گرمایی، ماشی‌های برون‌سوز مانند ماشی‌بخار بوده است. نوع دیگری از ماشی‌ها نیز وجود دارند که به خصوص در موتور خودروها استفاده می‌شوند و با سوخت‌هایی چون بنزین و گازوئیل کار می‌کنند که به آنها ماشی‌های درون‌سوز می‌گویند.

در ماشی‌های گرمایی با ترکیب چند فرایند ترمودینامیکی، دستگاه مقداری گرما از محیط دریافت و بخشی از آن را به کار روی محیط تبدیل می‌کند. از آنجا که این تبدیل انرژی باید دائمًا انجام شود، طراحی این ماشی‌ها به این صورت است که دستگاه پس از پیمودن چند فرایند معیّن به حالت اولیه خود برمی‌گردد؛ یعنی هر یک از این ماشی‌ها در یک چرخه معیّن کار می‌کنند و این چرخه، در ضمن کار ماشی دائمًا تکرار می‌شود. در ادامه با ذکر مثال‌هایی چگونگی کار ماشی‌های برون‌سوز و درون‌سوز را توضیح می‌دهیم و با اساس کار ماشی‌های گرمایی آشنا می‌شویم.

## الف) ماشین‌های گرمایی برونسوز

ماشین‌های برونسوز انواع مختلفی دارند که ابتدایی‌ترین نوع آنها ماشین نیوکامن است که از آن برای بیرون کشیدن آب از معادن استفاده می‌شد. انواع روزآمدتر این ماشین‌ها ماشین استرلینگ و ماشین بخار است. در ادامه به توضیح نمونه ساده‌ای از ماشین‌های بخار می‌پردازیم که توسط جیمزوات (۱۸۱۹-۱۷۳۶م) طراحی شد.

**ماشین بخار وات:** در ماشین بخار دستگاهی که چرخه را طی می‌کند، آب است. همان‌طور که در شکل نشان داده است، آب در دیگ بخار مقداری گرما دریافت می‌کند و پس از انجام دادن چند فرایند مختلف که به توضیح آنها می‌پردازیم، به حالت اولیه خود در دیگ بخار بر می‌گردد و این چرخه دائمًا تکرار می‌شود؛ چون گرما توسط کوره، از بیرون، به آب داده می‌شود، ماشین بخار از نوع ماشین‌های برونسوز محسوب می‌شود. با باز شدن شیر A بخار حاصل از دیگ بخار با فشار وارد استوانه (سیلندر) می‌شود و به این ترتیب، پیستون را به بالا می‌راند در حالی که شیر B بسته است. وقتی پیستون به بالای استوانه می‌رسد شیر A بسته می‌شود و به این ترتیب، دیگ بخار مسدود می‌گردد. هم‌زمان شیر B باز می‌شود و بدین ترتیب، بخار از استوانه خارج و وارد محفظه چگالنده می‌گردد. با ورود بخار به چگالنده، پیستون پایین می‌آید و هنگامی که پیستون به پایی ترین سطح خود می‌رسد، شیر B بسته و به طور هم‌زمان شیر A باز می‌شود و این مراحل دوباره تکرار می‌گردد. آب خنک کننده، چگالنده را همواره خنک نگه می‌دارد و بدین ترتیب، بخاری که وارد محفظه چگالنده می‌گردد، به مایع تبدیل می‌گردد (توجه کنید که آب خنک کننده وارد چگالنده نمی‌شود، بلکه اطراف آن را خنک می‌سازد). مایع پس از خروج از چگالنده توسط یک پمپ (تلمبه) به دیگ بخار برگردانده می‌شود و این چرخه پی در پی تکرار می‌شود.

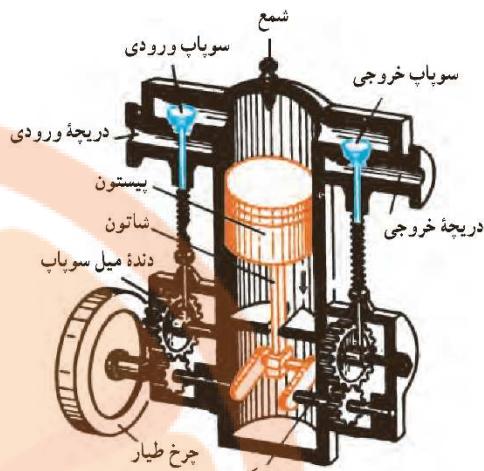
تحلیل دقیق چرخه یک ماشین بخار دشوار است. اما با برخی پیاده‌سازی‌ها می‌توان به تحلیل این ماشین‌ها پرداخت و به چرخه‌ای آرمانی (موسوم به چرخه رانکین) رسید. منظور از چرخه آرمانی چرخه‌ای است که فرایندهای آن ایستاوار و بدون اصطکاک و هر گونه اتلافی باشد. همان‌طور که در ماشین بخار وات دیدیم دستگاه (آب) در هر چرخه با دو منبع گرمایی دیگ بخار و چگالنده، تبادل گرما می‌کند و کار خالصی انجام می‌دهد. دیگ بخار را که در دمای بالاتری قرار دارد، منبع با دمای بالاتر و چگالنده را منبع با دمای پایی تر می‌نامند. گرمایی را که دستگاه از منبع با دمای بالاتر می‌گیرد با  $Q_H$  و گرمایی را که دستگاه به منبع با دمای پایی تر می‌دهد با  $Q_L$ ، و کار خالص انجام‌شده توسط دستگاه در طی چرخه را با  $W$  نمایش می‌دهیم.

## ب) ماشین‌های گرمایی درون سوز

موتور بیشتر خودروهای سواری، هواپیماها، برخی کشتی‌ها، قطارها و مولدهای کوچک برق(ژنراتور) درون‌سوزند. ماشین‌های گرمایی درون‌سوز انواع مختلفی دارند که دو نوع متداول آنها بنزینی و دیزلی نام دارند. در اینجا به توصیف ماشین‌های بنزینی می‌پردازیم.

**ماش ن درون سوز بنزینی:** موتور ماشی بنزینی از یک یا چند استوانه (سیلندر) تشکیل شده است که پیستون‌ها داخل آنها حرکت می‌کنند. یکی از ای استوانه‌ها و اجزای جانبی آن در شکل نشان داده شده است. در این نوع موتور، بخشی از انرژی حاصل از سوخت، سبب حرکت پیستون می‌شود. ای حرکت از طریق دسته (شاتون) و میل لنگ به حرکت چرخشی تبدیل می‌شود. با انتقال ای حرکت چرخشی به چرخ‌ها، اتومبیل حرکت می‌کند. بخش دیگر انرژی از طریق رادیاتور، که موتور را سرد می‌کند، و لوله خروجی (اگزوز) مستقیماً به هوا داده می‌شود.

ماشی بنزینی چرخه ای را طی می‌کند که شامل شش فرایند است. از ای شش فرایند، چهار فرایند همراه با حرکت پیستون‌اند که به آنها ضربه می‌گویند. ای فرایندها به طور طرح وار در شکل نشان داده شده است.



استوانه (سیلندر) و اجزای جانبی موتور



۱- ضربهٔ مکش: با پایین آمدن پیستون، مخلوط بنزین و هوا از طریق دریچهٔ ورودی وارد استوانه می‌شود. همان‌طور که در شکل نشان می‌دهد وقتی پیستون بالاست حجم فضای بالای آن  $V_1$  و وقتی پیستون پایین‌تر می‌باشد، حجم این فضای  $V_1 = rV_1$  است (r نسبت تراکم یا نسبت انبساط می‌گویند). وقتی پیستون به پایین ترین وضعیت خود رسید، سوپاپ دریچهٔ ورودی بسته می‌شود و مخلوط بنزین و هوا داخل استوانه محبوس می‌گردد.

۲- ضربهٔ تراکم: پیستون بالا می‌آید، مخلوط را متراکم می‌کند و آن را به حجم  $V_1$  می‌رساند. این تراکم به سرعت رخ می‌دهد. بنابراین، می‌توان آن را بی‌درر و در نظر گرفت. در نتیجه، در پایان این مرحله، دما و فشار مخلوط بسیار بالا رفته است.

۳- آتش گرفتن: هنگامی که پیستون به بالاترین وضعیت خود رسید، شمع جرقه می‌زند، مخلوط آتش می‌گیرد و دما و فشار آن در حجم ثابت  $V_1$  تا مقدار زیادی بالا می‌رود؛ چون آتش گرفتن مخلوط در داخل استوانه رخ می‌دهد و مخلوط از بیرون گرمایی گیرد، این موتورها را درون سوز می‌گویند.

۴- ضربهٔ قدرت: در این مرحله در اثر فشار زیاد، مخلوط منبسط می‌وشد و حجم آن از  $V_1$  به  $V_2$  می‌رسد. این انبساط به سرعت رخ می‌دهد. بنابراین، می‌توان آن را بی‌درر و در نظر گرفت. در نتیجه این انبساط، فشار و دمای

مخلوط کاهش می‌یابد. در این مرحله مخلوط، پیستون را به شدت به پایین می‌راند و روی آن کار انجام می‌دهد. این کار توسط میل لنگ به اجزای دیگر ماشین منتقل می‌شود.

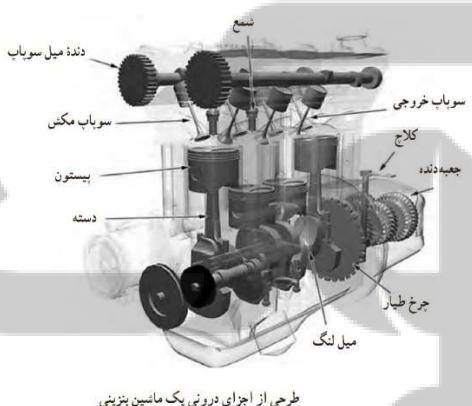
**۵- تخلیه:** در حالی که پیستون در پاییه قرار دارد، سوپاپ دریچه خروجی باز می‌شود و قسمتی از محصولات احتراق به صورت دود از دریچه خروجی خارج می‌شود، تا اینکه فشار گاز داخل استوانه با فشار جو یکسان شود. در این مرحله پیستون ساکن است.

**۶- ضربه خروج گاز:** پیستون بالا می‌آید و بقیه محصولات احتراق را بیرون می‌راند و حجم فضای بالای پیستون از مقدار اولیه  $V_1$  می‌رسد.



تحلیل دقیق چرخه یک ماشین بنزینی دشوار است. اما با بعضی ساده‌سازی‌ها می‌توان به تحلیل این ماشین‌ها پرداخت و به چرخه‌ای

آرمانی (موسوم به چرخه اتو) رسید. در این ساده‌سازی‌ها می‌توان دستگاه را گازی آرمانی ر نظر گفت و بدین ترتیب فرض کرد که گاز به جای مرحله آتش گرفتن، گرمای  $Q_H$  را از محیط (منبع با دمای بالا) دریافت می‌کند، به جای مرحله تخلیه و خروج گاز، گرمای  $Q_L$  ارا به محیط (منبع با دمای پایین) تحويل می‌دهد و سپس گاز سرد شده در فشار ثابت جو از استوانه خارج می‌شود. در طی این چرخه، کار خالص  $W$  ارا روی محیط انجام می‌دهد. شکل طرحی از اجزای یک ماشین بنزینی چهارسیلندر را نشان می‌دهد.



«ممکن نیست دستگاه چرخه‌ای را بپیماید که در طی آن مقداری گرما را از منبع دمابالا جذب و تمام آن را به کار تبدیل کند.»

عبارت بالا، قانون دوم ترمودینامیک به بیان **ماشین گرمایی** نامیده می‌شود.

«ممکن نیست گرما به طور خودبه‌خود از جسم با دمای پاییه تر به جسم با دمای بالاتر منتقل شود.» به این گزاره،

**قانون دوم ترمودینامیک** به بیان **یخچالی** می‌گویند.