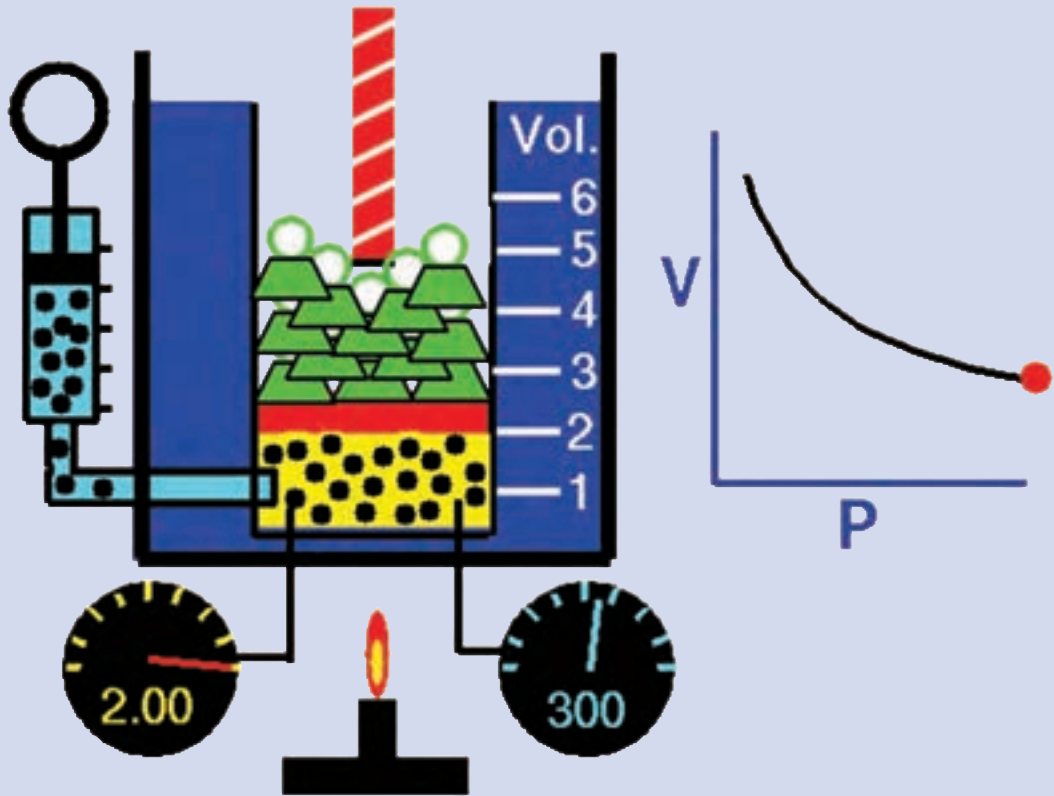


بخش دوم

راهنمای تدریس کتاب  
تأسیسات برودتی

کلیات





قبل از شروع درس توجه هنرجویان را به رو و پشت جلد کتاب جلب کنید و از ایشان بخواهید درباره طرح رو و پشت جلد کتاب اظهار نظر کنند نظرهای ایشان را روی تخته یادداشت کنید. سپس هدف کلی کتاب را در کنار نظر ایشان نوشته و برای ایشان توضیح دهید که در پایان کتاب هنرجویان باید چه موضوعاتی را فراگرفته باشند.

### پیش آزمون

- ۱- می دانیم که اگر یک قطعه آهن داغ را درون یک ظرف آب سرد وارد کنیم آهن سرد می شود، گرمای آهن کجا می رود؟
- ۲- می دانیم که اگر یک لیوان آب گرم را داخل یخچال بگذاریم سرد می شود، گرمای آب کجا می رود؟
- ۳- گرمای آب خلیج فارس خیلی بیشتر از گرمای آب جوش کتری است. درست □ نادرست □

## ۱-۱- گرما

### روش آموزش

در این بخش هنرآموزان محترم می توانند مطالبی نظیر:

- ۱- برداشت هنرجویان از سرشت گرما
- ۲- مفهوم و تعریف های دما
- ۳- خلاصه تاریخچه گرما
- ۴- یکاهای گرما در سه سیستم (بدون بیان هیچ معادله ای)
- ۵- اصل پابستگی انرژی و ... را بیان کنند.

با مطرح کردن پرسش های پیش آزمون می توان وارد موضوع شد. توجه کنید که این پرسش ها صرفاً به منزله بارش فکری است و نباید در مورد جواب آنها قضاوت، ارزشیابی یا انتقاد کرد و فقط جواب چند نفر را در گوشه ای از تخته یادداشت کنید. چنانچه هنوز هنرجویان در برداشت از گرما مشکل داشتند بیشتر توضیح دهید و وارد بحث دما شوید. بعد از پرداختن به تفاوت گرما با دما هنرجو برداشت بهتری از این موضوع خواهد داشت.

### دانش افزایی

توجه: دانش افزایی ها الزاماً برای طرح در کلاس نمی باشند.

#### الف) تاریخچه گرما

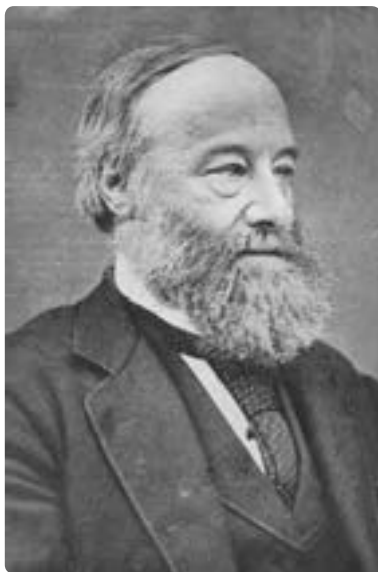
برای نخستین بار پدیده گرما توسط مرد و زن غارنشین ماقبل تاریخ برای آفرودختن آتش برای گرم شدن و برای پخت غذا کشف شد.

فلاسفه باستان بر این باور بودند که جهان از چهار عنصر آب، خاک، باد و آتش ساخته شده است. بنابراین آنها گرما (آتش) را یکی از عناصر چهارگانه جهان می دانستند.



شکل ۱-۱ کنت رامفورد

دانشمندان روزگاران گذشته گرما را شماره‌ای از یک سیال نامرئی به نام «کالریک» در نظر می گرفتند. عقیده بر این بود که جسم با دمای بالا مقدار زیادی کالریک و جسم با دمای پایین مقدار کمتری کالریک دارد و چون دو جسم نزدیک یکدیگر قرار گیرند جسمی که از نظر کالریک غنی است مقداری از آن را به جسم دیگر می داد و دمای نهایی بین دو دمای اولیه قرار می گرفت. بنجامین تامسون معروف به کنت رامفورد (۱۷۵۳-۱۸۱۴) نقشی قابل توجه در تصحیح نظریه سرشت گرما دارد. تامسون به هنگام سوراخ کردن لوله یک توپ جنگی در اواخر سال‌های ۱۷۹۰ متوجه شد که سلاح پس از مدت کوتاهی بسیار داغ می شود. او ظرف عایق و آب بندی شده‌ای را که حاوی ده لیتر آب بود در تماس با لوله توپ قرار داد. در حالی که لوله توپ سوراخ می شد، آب موجود در ظرف داغ و داغ تر شد و پس از دو ساعت و نیم شروع به جوشیدن کرد. او نتیجه گرفت که کار انجام شده برای سوراخ کردن لوله به گرما تبدیل شده است. او در صدد تعیین رابطه میان کار انجام شده و آبی که جوشیده بود برآمد اما رابطه معینی به دست نیاورد.



شکل ۱-۲ جیمز ژول

بعد از تامسون نیز تلاش‌هایی برای دستیابی به معادله صورت گرفت تا اینکه جیمز پرسکات ژول<sup>۲</sup> (۱۸۱۸-۱۸۸۹) با آزمایش‌های دقیق معادل بودن کار و گرما را ثابت کرد. این موضوع باعث به وجود آمدن مفهوم جدیدی از گرما به صورت نوعی انرژی، و نظریه جنبشی مولکولی شد. او آزمایش‌های فراوانی در این راستا به انجام رسانید. با اندازه‌گیری اختلاف دمای آب در بالا و پایین یک آبشار صد و ده متری تبدیل انرژی پتانسیل آب به گرما را بررسی کرد. پس از انجام این بررسی‌ها او به این نتیجه رسید که مقدار انرژی در جهان ثابت است فقط می تواند از صورتی به صورت دیگر تبدیل شود. پس اجسام می توانند در حالت تعادل گرمایی وجود داشته باشند. ژول اظهار داشت که هرگاه مقدار معینی از انرژی مکانیکی به نظر ناپدید آید، همراه آن مقدار معینی گرما ظاهر شده است و این دلالت بر پایداری انرژی دارد.

### ب) مفهوم گرما:

گرما انرژی داخلی گذرا است. این انرژی از بخشی از یک سیستم به بخش دیگر آن و یا از یک سیستم به سیستم دیگر، صرفاً به علت اختلاف دما جریان پیدا می کند. در خلال جریان گرما فرایند گرما نامعلوم است و کمیت معلوم سرعت جریان گرما است که تابعی از زمان است. فقط پس از پایان یافتن جریان است که می توان گرما را به عنوان «انرژی داخلی منتقل شده از یک سیستم با دمای بالاتر به یک سیستم با دمای پایین تر» تعریف کرد. پس ادای عبارت «گرمای یک جسم» درست نیست همان گونه که گفتن از کار یک جسم نیز درست نیست. انجام کار و جریان گرما روش‌هایی هستند که توسط آنها انرژی درونی یک سیستم تغییر داده می شود. جدا کردن انرژی داخلی به یک بخش مکانیکی و یک بخش گرمایی غیرممکن است.

۱- Benjamin Thompson

۲- James Prescott Joule

پ) نظریه جنبشی مولکولی گازها<sup>۱</sup>

نظریه جنبشی مولکولی گازها از مهم ترین نظریه های ترمودینامیک است که نتیجه آن این است که انرژی جنبشی متوسط یک مولکول فقط تابع دما است (و به حجم یا فشار یا نوع مولکول) بستگی ندارد.

نظریه جنبشی گازها شامل فرضیات زیر است :

- ۱- گازها متشکل از مجموعه ای از ذرات است که آن ذرات به صورت مستقیم حرکت می کنند (از قوانین نیوتون تبعیت می کنند).
- ۲- از حجم ذره ها صرف نظر می شود (در مقابل ظرف که حجم زیادی دارد).
- ۳- به هنگام برخورد انرژی جنبشی یک ذره به ذره دیگر انتقال می یابد، بدون آنکه مقدار کل انرژی جنبشی ذره ها تغییر کند.
- ۴- مولکول ها هیچ گونه نیرویی به هم وارد نمی کنند.

۵- میانگین انرژی جنبشی یک مولکول متناسب با دمای آن جسم است  $(E_c = \frac{3kT}{2})$

انرژی جنبشی یک مولکول از فرمول  $E_c = \frac{3kT}{2}$  به دست می آید که در آن

$$k = \frac{R}{N_A} = \frac{8.314}{6.022 \times 10^{23}} = 1.38 \times 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{molecule.K}}$$

و T دمای مطلق بر حسب کلون است.

مثال : انرژی جنبشی یک مولکول منفرد از گازی در دمای ۳۰۰ کلون چند ژول است؟

$$E_c = \frac{mV^2}{2} = \frac{3kT}{2} = \frac{3 \times 1.38 \times 10^{-23} \times 300}{2} = 6.21 \times 10^{-21}$$

انرژی جنبشی کل مولکول های در یک مول گاز با دمای ۳۰۰ کلون چند ژول و چند کالری است؟

طبق نظریه آووگادرو هر مول گاز دارای  $6.022 \times 10^{23}$  مولکول می باشد بنابراین :

$$\begin{aligned} \text{انرژی یک مولکول} \times \text{تعداد مولکولها} &= U \text{ انرژی یک مول گاز} \\ &= 6.022 \times 10^{23} \times 6.21 \times 10^{-21} = 3739 \text{ J} \end{aligned}$$

## ت) یکای گرما

در قرن هجدهم برای گرما یکایی به نام کالری<sup>۲</sup> تعریف شد و آن مقدار گرمایی است که دمای یک گرم آب را یک درجه سلسیوس بالا ببرد. بعدها معلوم شد که گرمای لازم برای گرم کردن یک گرم آب از ۹۰°C به ۹۱°C بیشتر از مقدار لازم برای رسانیدن آب از ۳۰°C به ۳۱°C است. لذا تعریف را تصحیح کرده و آن را برای رسانیدن آب ۱۴/۵°C به ۱۵/۵°C (به نام کالری ۱۵°C) تعریف کردند. واحد گرما در سیستم انگلیسی<sup>۱</sup> بی تی یو<sup>۲</sup> است و آن مقدار گرمای لازم برای گرم کردن یک پوند آب ۶۳°F به ۶۴°F است.

همانگونه که اشاره شد گرما یک نوع انرژی و یکاهای آن نیز از همان نوع می باشند. به یاد ژول که آزمایش های مختلفی را بر روی رابطه بین کار و گرما انجام داده است یکای انرژی در دستگاه بین المللی SI<sup>۳</sup> را ژول (J) نام گذاری کردند. به تجربه ثابت شده است

$$1 \text{ cal} = 4.186 \text{ J}$$

برای تبدیل این یکاها به یکدیگر می توان از معادله  $Q = m.c.\Delta t$  کمک گرفت.

$$1 \text{ cal} = 1 \text{ gr} \times 1 \frac{\text{cal}}{\text{gr} \cdot ^\circ \text{C}} \times 1^\circ \text{C}$$

$$1 \text{ Btu} = 1 \text{ lb} \times 1 \frac{\text{Btu}}{\text{lb} \cdot ^\circ \text{F}} \times 1^\circ \text{F}$$

$$1 \text{ lb}_m = 453 / 59237 \text{ gr} \quad 1^\circ \text{C} = 1 / 1.8^\circ \text{F} \quad C_{\text{water}} = 1 \frac{\text{cal}}{\text{gr} \cdot ^\circ \text{C}} = 1 \frac{\text{Btu}}{\text{lb} \cdot ^\circ \text{F}}$$

$$1 \text{ Btu} = 453 / 59237 \text{ gr} \times 1 \times \frac{1}{1.8} = 251 / 99576 \text{ cal} \approx 252 \text{ cal}$$

$$1 \text{ Btu} = 252 \text{ cal} = 252 \times 4 / 186 \text{ J} = 1055 \text{ J}$$

$$1 \text{ Btu} = 0.252 \text{ kcal} = 1055 \text{ J} \rightarrow 1 \text{ kcal} = 3 / 968 \text{ Btu} \approx 4 \text{ Btu} \quad , \quad 1 \text{ kcal} = 4 / 186 \text{ kJ}$$

### کار در کلاس ۱-۱

۱- از هنرجویان بخواهید که کف هر دو دست را به یکدیگر مالش دهند و دلیل گرم شدن آن را توضیح دهند.

۲- شخصی به وزن  $70^\circ$  نیوتن ۵ متر حرکت می کند چند ژول انرژی مصرف می شود؟

$$W = F \cdot d = 70 \cdot 5 = 350 \text{ J}$$

۳- چنانچه تمام کار انجام شده شخص در مثال قبل به گرما تبدیل شود چند ژول و چند بی تی یو و چند کالری گرما تولید شده است؟

$$350 \text{ J} \quad \frac{350}{1055} = 3 / 3 \text{ Btu} \quad \frac{350}{4 / 186} = 836 \text{ cal}$$

توجه:

هنرآموزان گرمی می توانند با توجه به نوع پرسش آن را به چند شکل مطرح نمایند:

الف) برای پاسخ سر کلاس در زمان تدریس

ب) برای آزمون در شروع هر جلسه از مطلب جلسه گذشته<sup>۲</sup>

پ) برای تحقیق توسط هنرجویان (تک نفره یا گروهی)

### پرسش و پاسخ

۱- نظریه دانشمندان روزگاران گذشته را درباره گرما بیان کنید و دلیل رد آن نظریه درباره گرما چه بود؟

۲- انرژی گرمایی را تعریف کنید.

۳- گرما را تعریف کنید.

۱- این سیستم به نام های FPS (فوت-پوند-ثانیه) و IP (اینچ-پوند) نیز نام گذاری شده است.

۲- British Thermal Unit

۳- International System of Units = Systeme Internationale (لفظ فرانسوی است.)

۴- Quiz

- ۴- یکای انرژی ..... و یکای گرما ..... است.
- ۵- برای کاهش دمای یک کیلوگرم آب  $20^{\circ}\text{C}$  به آب صفر درجه سلسیوس چند کیلوژول انرژی مورد نیاز است؟ این مقدار را برحسب کیلوکالری و بی‌تی‌یو به دست آورید.
- ۶- در زمان فرود هواپیما دمای ترمز به  $600$  تا  $700$  درجه سلسیوس می‌رسد. علت را توضیح دهید.
- ۷- علت اینکه در زمان لمس کردن یک جسم داغ یا یک جسم خیلی سرد دست ما دچار سوختگی می‌شود، چیست؟ (به ویژه اگر چشم ما بسته باشد و متوجه نشویم که جسم سرد است یا گرم)

## ۲-۱- دما

### روش آموزش

در این بخش هنرآموزان محترم می‌توانند مطالبی نظیر:

- ۱- کاربرد دما در زندگی روزمره
  - ۲- ضرورت اندازه‌گیری دما
  - ۳- مفهوم و تعریف‌های دما
  - ۴- خلاصه تاریخچه دماسنجی
  - ۵- وسایل اندازه‌گیری دما
  - ۶- و... را بیان کنند
- با مطرح کردن پرسش‌های پیش‌آزمون می‌توان وارد موضوع شد.

### پیش‌آزمون

- ۱- یکای اندازه‌گیری دما کدام است؟ الف- ژول ب- کالری پ- سلسیوس
- ۲- دمای داخل یخچال  $0^{\circ}\text{C}$  و دمای سردکن آن  $10^{\circ}\text{C}$  است.
- ۳- فکر می‌کنید کولر آبی دمای اتاق را چند درجه کاهش می‌دهد؟
- ۴- فکر می‌کنید کولر گازی دمای اتاق را چند درجه کاهش می‌دهد؟

### دانش‌افزایی

#### الف) تعریف دما

دما دو تعریف رایج دارد:

- ۱- تعریف عملیاتی: دما معیاری است که سردی و گرمی اجسام را نشان می‌دهد.
- ۲- تعریف از دیدگاه مولکولی: دمای هر جسم متناسب با میانگین انرژی جنبشی مولکول‌های سازنده آن جسم است. در واقع دما کمیتی نسبی است که به میزان انرژی جنبشی ذرات جسم بستگی دارد.

دما یک خاصیت فیزیکی ماده است که کمیت مشترک همه اجسام است. بسیاری از خواص مواد شامل جامد، مایع، گاز یا پلاسما، چگالی، حلالیت، فشار بخار و رسانایی الکتریکی به دما بستگی دارد. دما نقش مهمی در انجام و سرعت واکنش‌های شیمیایی دارد. همچنین میزان گرمای تشعشعی از یک سطح را تعیین می‌کند.

### ب) تاریخچه دماسنجی:

حال که با تعریف دما آشنا شدیم، چگونه باید دما را اندازه بگیریم؟  
بی شک حس لامسه اولین ابزار بشر برای اندازه‌گیری دما بوده است.  
اما این حس چقدر دقیق است؟

اگر در روزهای برفی زمستان به مدت زیاد برف بازی کرده باشید، به خاطر می‌آورید وقتی به خانه برمی‌گشتید و دستان سرد خود را روی بخاری یا زیر آب گرم می‌گرفتید، تشخیصی از گرمای هوا یا آب نداشتید. بلکه برعکس به نظرتان آب یا هوا، سرد می‌آمد. در واقع این اشتباه از اینجا ناشی می‌شود که حواس ما در سرمای زیاد تقریباً کارایی خود را از دست می‌دهند و دیگر تشخیص درستی از سرما و گرما ندارند. پس ظاهراً حس لامسه با وجود اینکه اولین و در دسترس‌ترین ابزار تعیین دماست، چندان دقیق و مناسب نیست. اندازه‌گیری دما با «دماسنج» امکان‌پذیر است.

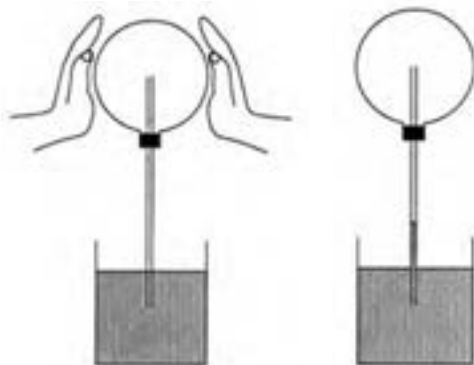


شکل ۱-۳ گالیلهو گالیله (۱۶۴۲-۱۵۶۴)

در قرن دوم میلادی یک فیزیکدان یونانی به نام گالن ثابت کرد که می‌توان حس‌هایی مثل سرما و گرما را به کمک وسیله‌ای شامل یک ستون چهار درجه‌ای اندازه‌گیری کرد. این نظریه تا پایان قرن شانزدهم پایه‌ای بر تعلیمات پزشکی بود.

نخستین وسیله واقعی علمی را برای اندازه‌گیری دما در سال ۱۵۹۳ گالیله اختراع کرد. این دستگاه به طور کیفی، (نه از نظر کمی و مقدار معین دما) اثر گرما را در انبساط هوا نشان می‌داد. دماسنج ساده آن زمان شامل یک حباب و یک لوله شیشه‌ای بود که

درون آن آب رنگی قرار داشت وقتی حباب گرما می‌دید، هوای داخل آن منبسط می‌شد و از دهانه لوله باریک و بلند خارج می‌گردید. سپس حباب به‌طور وارونه به داخل آب قرار داده می‌شد. هوای جمع‌شده داخل حباب به هنگام خروج، آب اطراف آن را بالا می‌برد. تغییرات بعدی میزان ارتفاع آب، نشانگر گرمای هوای متراکم داخل حباب بود. وسیله گالیله مقیاسی واقعی برای سنجش دما نبود به طوری که وسیله وی بیشتر جنبه دمانما (ترموسکوپ)<sup>۱</sup> داشت تا جنبه دماسنج (ترمومتر)<sup>۲</sup>. برای مثال برای اندازه‌گیری دمای بدن، شخص بیمار دست خود را در اطراف حباب می‌گذاشت و با دمای بدن شخص سالم مقایسه می‌شد.



شکل ۱-۵ اندازه‌گیری دمای نسبی با دمانما



شکل ۱-۴ دمانما



بعدها عده‌ای میزان دمای خون و عده‌ای دیگر دمای ذوب کره و... را مبنای مدرج‌سازی دماسنج قرار دادند. تا در سال ۱۷۱۴ گابریل دانیل فارنهایت موفق شد، دماسنجی بسازد که امروز استفاده می‌شود. فارنهایت در شهر دانزیگ واقع در کشور مشترک‌المنافع لهستان و لیتوانی متولد شد و بعد از مرگ والدینش در سن کودکی به هلند رفته و بقیه عمر خود را به تحصیل در رشته شیمی پرداخته و موفق به ساخت دماسنج الکلی و در نهایت جیوه‌ای شد. ذوق و حرفه اصلی وی ساختن وسایل هواشناسی بود. چون در آن زمان برای مطالعه اقلیم‌ها دماسنج ضرورت داشت. او توجه خاصی به ساختن اسباب اندازه‌گیری دما کرد. در قرن هفدهم نوعی دماسنج گازی و الکلی ساخته شده بود که دقت کافی نداشتند. فارنهایت جیوه را مورد استفاده قرار داد و در سال ۱۷۱۴ میلادی دماسنجی جیوه‌ای ساخت. وی نخست راه را برای پاک‌سازی جیوه اختراع کرد. به طوری که جیوه دیگر به دیواره‌های لوله باریک نمی‌چسبید. دماسنج جیوه‌ای دارای این مزیت بود که اندازه‌گیری دماهای بالاتر از نقطه جوش و پایین‌تر از نقطه انجماد آب را ممکن می‌ساخت. از این گذشته میزان انبساط و تراکم جیوه به نسبت ثابت‌تر از غالب مواد دیگر است. به همین دلیل درجه‌بندی دقیق آن مقدور بود.



شکل ۷-۱ دماسنج فارنهایت



شکل ۶-۱ گابریل دانیل فارنهایت (۱۷۳۶-۱۶۸۶)

بر اساس مقاله‌ای که در ۱۷۲۶ توسط او نوشته شده، مقیاس او بر اساس سه نقطه پایه‌گذاری شده است. نقطه اول دمای مخلوط یک‌به‌یک آب و یخ و نشادر است که به عنوان صفر در نظر گرفته شده است. نقطه بعدی دمای مخلوط یک‌به‌یک آب خالص و یخ است و نقطه سوم دمای بدن انسان است. فارنهایت بعد از مشاهده فاصله این نقاط از هم به این نتیجه رسید که فاصله نقطه ذوب یخ خالص و یخ با نشادر نصف فاصله نقطه ذوب یخ خالص از دمای بدن است. پس برای سادگی تقسیم‌بندی بین این نقاط فاصله‌ها را به دو مقدار ۳۲ قسمتی و ۶۴ قسمتی تقسیم نمود که با نصف کردن چندباره فاصله‌ها امکان‌پذیر است. پس در مقیاس او دمای ذوب یخ خالص برابر با ۳۲ و دمای بدن برابر با ۹۶ درجه (۳۲+۶۴) اندازه‌گیری شد. فارنهایت مشاهده کرد که آب با این مقیاس در ۲۱۲ درجه به جوش می‌آید. بعدها دانشمندان در این مقیاس تغییراتی دادند تا نقطه ذوب یخ دقیقاً ۳۲ درجه و دمای جوش آب ۲۱۲ درجه در نظر گرفته شود و فاصله آنها ۱۸۰ واحد باشند. به خاطر همین تغییرات دمای بدن انسان در این مدل ۹۸ درجه به دست آمد.

آندره سلسیوس، دماسنج خود را در سال ۱۷۴۲ اختراع کرد. مقیاس او بر اساس دو نقطه پایه‌گذاری شده است. نقطه اول دمای مخلوطی از آب و یخ در حال تعادل و تحت فشار جو و نقطه بعدی دمای مخلوط آب و بخار در حال تعادل در فشار جو است و بین این دو را به ۱۰۰ قسمت مساوی تقسیم کرد و هر قسمت را یک درجه سانتی‌گراد (این نام از واژه لاتین centum به معنی «۱۰۰») و gradus به معنی «گام» یا «مرحله» گرفته شده است. او ابتدا نقطه جوش آب را صفر و نقطه انجماد آب را ۱۰۰ تعیین کرد، اما سال بعد

این روش را معکوس کرد و این همان درجه بندی است که به درجه بندی سلسیوس یا سانتی گراد یا صدبخشی معروف است. (از ۱۹۵۴ بر اساس پذیرش جهانی، «درجه سلسیوس» یا یکای سلسیوس با دو دما تعریف می شود: صفر مطلق و نقطه سه گانه آب خالص ( $0.01^\circ\text{C}$ ))



شکل ۹-۱ لرد کلونین (۱۸۲۴-۱۹۰۷)



شکل ۸-۱ آندره سلسیوس (۱۷۴۴-۱۷۰۱)

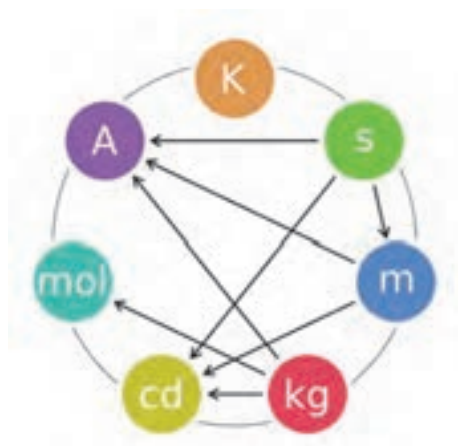
ویلیام تامسون مشهور به لرد کلونین یکی از پیشگامان مهم علوم طبیعی در قرن نوزدهم بود. او کارهای مهمی در ترمودینامیک انجام داد. او به خاطر پیشنهاد مقیاس دمای ترمودینامیکی کلونین در ۱۸۴۸ معروف است. این واحد اندازه گیری دما که مستقل از خواص فیزیکی ماده است، به افتخار او مقیاس دمای کلونین نام گرفته است.

### (ب) دمای صفر مطلق:

ایده «صفر مطلق» در نیمه دوم قرن ۱۸ مطرح شد با این سؤال که آیا برای میزان سرد بودن ماده حدی وجود دارد؟ پاسخ مثبت است. همانگونه که آورده شد دما معیاری از انرژی جنبشی است و هر زمان که ماده کمترین انرژی را داشته باشد دما صفر می شود. اما صفر کلونین چگونه تعیین می شود؟ در واقع صفر کلونین دمایی نیست که بتوان به آن دست یافت. اما برای مشخص کردن شاخص مقیاس کلونین نقطه سه گانه آب را معادل  $273.15/16$  درجه کلونین در نظر می گیرند.

قانون سوم ترمودینامیک بیان می کند که ممکن نیست از طریق یک سلسله فرایند متناهی به صفر مطلق دست یافت. به عبارتی رسیدن به دمای صفر مطلق محال است. البته به نزدیکی های صفر مطلق می شود رسید، اما خود صفر مطلق قابل دسترس نمی باشد. (سردترین جای شناخته شده دنیا، قلب سحابی بومرنگ است که پنج هزار سال با ما فاصله دارد. دانشمندان در سال ۲۰۰۳ گزارش کردند که گازهای به جا مانده از یک ستاره مرکزی در حال مرگ، با سرعت خیره کننده ای جارو می شوند و آن ناحیه از فضا تا دمای یک درجه کلونین سرد شده است. در سال ۲۰۰۰ دانشمندان هلنیکی فنلاند اعلام کردند که به دمای  $10^{-10}$  پیکو کلونین (پیکو  $10^{-12}$ ) رسیده اند.)

توجه داشته باشید که دمای مطلق با کلونین (K) نشان داده می شود نه بر حسب درجه کلونین و از علامت درجه ( $^\circ$ ) برای آن استفاده نمی شود. این یکا به عنوان یکی از هفت یکای اصلی در سیستم SI پذیرفته شده است.



شکل ۱۰-۱ هفت یکای اصلی سیستم SI

m=متر	S=ثانیه
mol=مول	K=کلونین
A=آمپر	kg=کیلوگرم
	cd=شمع

## ۱-۳ تفاوت گرما با دما

## روش آموزش

جدول یکاها را در سه سیستم روی تخته رسم کنید و از هنرجویان بخواهید که آن را تکمیل نمایند.

سیستم یکا کمیت	سیستم بین المللی SI	متریک (MKS)	سیستم انگلیسی FPS or IP
گرما	J	Kcal	BTU
دما	K	°C	°F

سپس در این قسمت تعریف هایی که راجع به گرما آمده در یک ستون و تعریف های مربوط به دما را در ستون دیگر بیاورید :

تعریف های گرما	تعریف های دما
یکی از صورت های انرژی است.	معیاری است برای سنجش سردی و گرمی اجسام
انرژی مکانیکی می تواند به گرما تبدیل شود.	متناسب با انرژی جنبشی متوسط مولکول های سازنده آن جسم است.
گرما انرژی داخلی گذرا است.	کمیتی نسبی است که به میزان انرژی جنبشی ذرات بستگی دارد.
این انرژی از بخشی از یک سیستم به بخش دیگر و یا از یک سیستم به سیستم دیگر جریان پیدا می کند.	دما یک خاصیت فیزیکی ماده است.
انرژی داخلی منتقل شده از یک سیستم با دمای بالاتر به یک سیستم با دمای پایین تر صرفاً به علت اختلاف دما	رسیدن به دمای صفر مطلق محال است.
	در دمای صفر مطلق فشار گاز صفر می شود.
	شدت انرژی جنبشی یک ماده را بیان می کند.

## کار در کلاس ۱-۲

در این زمان می توانید کبریت و بلوک فولادی کتاب را مثال بزنید و برای اینکه هنرجو متوجه افزایش دما شود می توان دمای

تعادل را محاسبه کرد :

$$t_{\text{iron}} = 200^{\circ}\text{C}, t_{\text{air}} = 20^{\circ}\text{C}, m_{\text{iron}} = 300 \cdot \text{kg}, c_{\text{iron}} = 0.45 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$$

$$c_{\text{air}} = 1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$$

$$Q_{\text{iron}} = Q_{\text{air}} \rightarrow m_1 \times c_1 \times (200 - t) = m_2 \times c_2 \times (t - 20)$$

حال چنانچه حجم این اتاق  $3 \times 4 \times 6 = 72 \text{ m}^3$  فرض شود و با جرم مخصوص هوا  $1/2$  دمای اتاق برابر است با :

$$m = 72 \times 1/2 = 36 \text{ kg} \approx 100 \text{ kg}$$

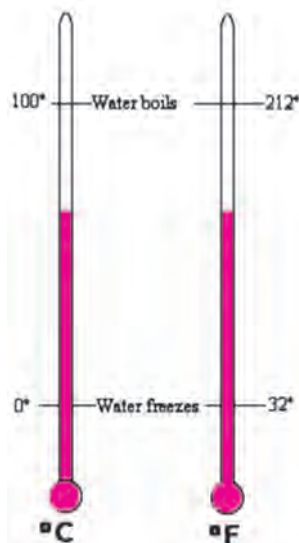
$$300 \times 0.45 \times (200 - t) = 100 \times 1 \times (t - 20)$$

$$1350 \times (200 - t) = 100 \times (t - 20) \rightarrow t = 187^{\circ}\text{C}$$

**الف) تبدیل یکاهای دما:**

برای تبدیل دو یکای سلسیوس و فارنهایت به یکدیگر کافی است دو نقطه جوش آب و ذوب یخ را در دو سیستم با هم مقایسه کنیم با توجه به شکل رابطه زیر برقرار است:

$$\frac{F - 32}{212 - 32} = \frac{C}{100 - 0} \rightarrow \frac{F - 32}{180} = \frac{C}{100} \rightarrow F = \frac{180 \cdot C}{100} + 32 \rightarrow F = \frac{9}{5}C + 32 \rightarrow F = 1/8C + 32$$



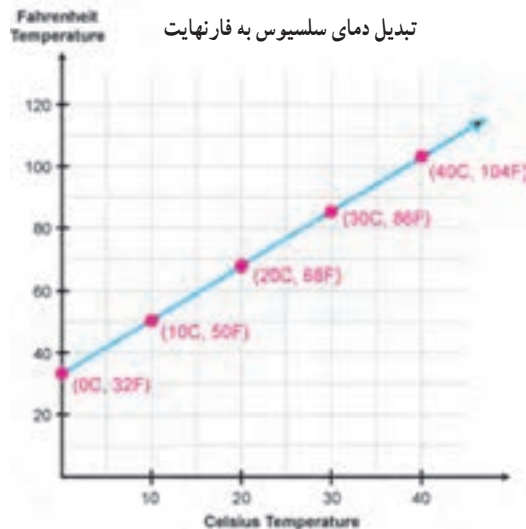
شکل ۱-۱۱ مقایسه دو دماسنج

در شکل ۱-۱۲ نمودار تبدیل دمای سلسیوس به فارنهایت و بالعکس آورده شده است در جدول کتاب (پیوست ۳) نیز تبدیل به این شکل انجام می شود که عدد مورد نظر برای تبدیل در ستون وسط می آید و عدد تبدیل شده در دو طرف آن خوانده می شود به هنجاریان یادآوری کنید که برای استفاده از این جدول نمی توان یک ستون را جا انداخت و فقط ستون هایی که در کنار همدیگر هستند قابل تبدیل اند.

C	F	C	F	C	F	C	F
-40	-40	-40	15.6	60	140		
-23.3	-10	14	18.3	65	149		
20.6	-5	23	21.1	70	158		
-17.8	0	32	23.9	75	167		
-15	5	41	26.7	80	176		
-12.2	10	50	29.4	85	185		
-9.4	15	58	32.2	90	194		
-6.7	20	68	35	95	203		
-3.9	25	77	37	98.8	209.5		
-1.1	30	86	37.2	99	210.2		
1.7	36	95	37.8	100	212		
4.4	40	104	38.3	101	213.6		
7.2	45	113	38.9	102	215.6		
10	50	122	39.4	103	217.4		
12.8	55	131	40	104	219.2		

www.temperatureWorld.com

شکل ۱-۱۳ جدول تبدیل دما



تبدیل دمای سلسیوس به فارنهایت

شکل ۱-۱۲ نمودار تبدیل دما

برای مثال برای تبدیل صفر درجه سلسیوس به فارنهایت، صفر را از ستون وسط انتخاب و در ستون راست آن ۳۲ درجه فارنهایت به دست می‌آید و برای صفر درجه فارنهایت به سلسیوس باز به همان قسمت رفته و از ستون سمت چپ ۱۷/۸- به دست می‌آید. ولی نمی‌توان ۱۷/۸°C را با ۳۲°F برابر قرار داد. بدیهی است برای تبدیل درجه سلسیوس به کلونین باید آن را با ۲۷۳/۱۵ جمع کرد.

$$T_K = T_C + 273/15$$

ویلیام جان رانکین (۱۸۲۲-۱۸۸۲) بر اساس صفر مطلق و مقیاس فارنهایت در سال ۱۸۵۹ مقیاس برابر درجه ۱/۸ دیگری را پیشنهاد داد که به نام خود او به کار می‌رود. می‌دانیم که هر درجه فارنهایت ۴۵۹/۶۷-۳۲=۴۹۱/۶۷ ،  $۴۹۱/۶۷ \times ۱/۸ = ۲۷۳/۱۵$  ، کلونین است پس صفر مطلق رانکین برابر ۴۵۹/۶۷- می‌باشد پس برای تبدیل درجه فارنهایت به رانکین از معادله:

$$T_R = T_F + 459/67$$

و برای تبدیل کلونین به رانکین:

$$T_R = T_K \times \frac{9}{5}$$

### شعاعیت خارج از کلاس

در مورد انواع دماسنج‌های زیر تحقیق و به کلاس ارائه شود.

- ۱- جیوه‌ای ۲- الکلی ۳- دماسنج شیشه‌ای قابل رویت از دور ۴- دماسنج دوفلزی ۵- تابشی ترمیستوری ۶- فرسوخ ۷- ترموکوپلی



شکل ۱۵-۱ دماسنج‌های دوفلزی

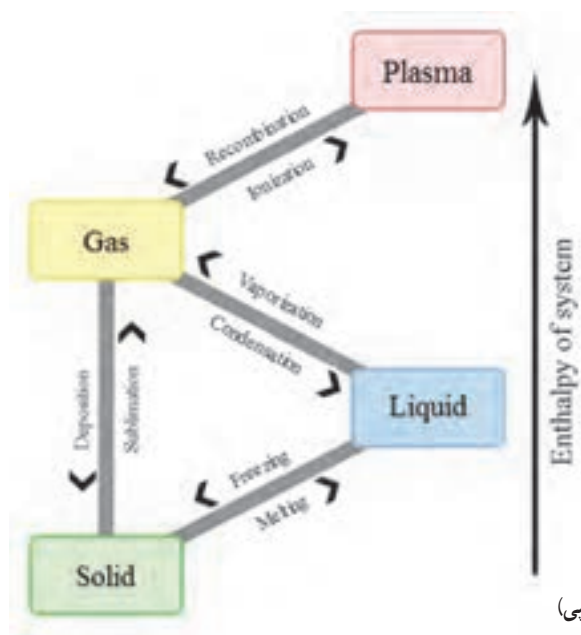


شکل ۱۴-۱ دماسنج‌های شیشه‌ای

به موضوع فاز یا حالت به اندازه کافی در درس‌های فیزیک و شیمی پرداخته شده است فقط در این قسمت می‌توان علاوه بر مطالب کتاب به خلاصه‌ای از فازهای دیگر ماده که در دانش افزایی آمده پرداخت.

## دانش افزایی

دانشمندان باستان، عالم را متشکل از چهار عنصر آتش، خاک، آب و هوا می‌دانستند. اما ما می‌دانیم که عنصرها بیشتر هستند ولی تعبیر دیگری نیز ارائه شده و آن این است که آتش را بیانگر انرژی دانسته و سه عنصر دیگر نشان‌دهنده سه حالت از ماده جامد، مایع و گاز می‌باشند. بر طبق این دسته‌بندی، مواد جامد دارای شکل و ابعاد مشخصی بوده و همچنین جرم، حجم و وزن مشخصی دارند. مایعات و گازها شماره هستند، یعنی جریان می‌یابند. این اجسام شکل معینی ندارند و شکل ظرفی را که در آن قرار دارند به خود می‌گیرند. علاوه بر این حالت‌ها، حالت‌هایی دیگر از ماده وجود دارد که به طور معمول در دمای معمولی جو زمین قابل تشخیص نیستند. پلاسما حالت چهارمی از ماده است که دانش‌امروزی توانسته آنها را جزو سه حالت دیگر پندارد و مجبور شده آن را حالت مستقلی به حساب آورد. این ماده با ماهیت محیط یونیزه، ترکیبی از یون‌های مثبت و الکترون با غلظت معین می‌باشد که مقدار الکترون‌ها و یون‌های مثبت در یک محیط پلاسما تقریباً برابر است و حالت پلاسمای مواد، تقریباً حالتی شبیه خنثی دارد. پدیده‌های طبیعی زیادی از جمله آتش، خورشید، ستارگان و غیره در رده حالت پلاسمایی ماده قرار می‌گیرند. پلاسما شبیه گاز است، ولی مرکب از ذرات باردار متحرکی به نام یون است. یون‌ها به شدت تحت تأثیر نیروهای الکتریکی و مغناطیسی قرار می‌گیرند. مواد طبیعی در حالت پلاسما عبارتند از انواع شعله، بخش خارجی جو زمین، اتمسفر ستارگان، بسیاری از مواد موجود در فضای سحابی و بخشی از دم ستاره دنباله‌دار و شفق‌های قطبی شمالی. نمایش خیره‌کننده از حالت پلاسمایی ماده است که در میدان مغناطیسی جریان می‌یابد. بدانید که دانش‌امروزی حالات دیگری از جمله برهم‌کنش قوی و ضعیف هسته‌ای را نیز در دسته‌بندی‌ها به عنوان حالات پنجم و ششم ماده به حساب می‌آورد که از این حالات در توجیه خواص نکلون‌های هسته، نیروهای هسته‌ای، واکنش‌های هسته‌ای و در کل فیزیک ذرات بنیادی استفاده می‌شود.



شکل ۱۶-۱ تغییر فاز مواد (با توجه به آنتالپی)

## ۵-۱- نمودار دما-گرما

## پیش آزمون

- ۱- آب در صفر درجه سلسیوس در فاز ... است.
- ۲- دمای بخار آب چند درجه سلسیوس است؟ کمتر از صد ( ) بیشتر از صد ( )

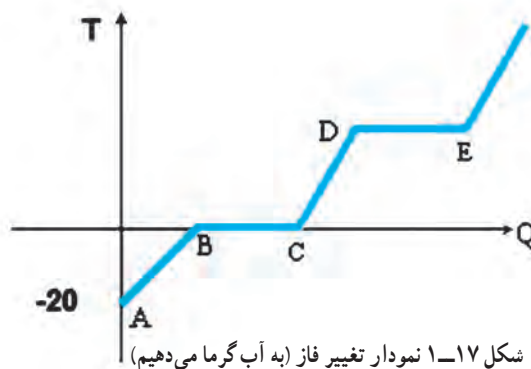
## روش آموزش

هنرآموزان گرمی در این بخش بهتر است نمودار، فاز به فاز کشیده شود. در ابتدا دو نکته که در مورد بیشتر مواد به خصوص آب درست است به هنرجویان گفته شود.

اول اینکه اگر ما به آرامی به جسم گرما دهیم یا تغییر فاز داریم یا تغییر دما و هر دو فرایند با هم اتفاق نمی افتد. دوم اینکه این شرایط برای حالتی است که به جسم در فشار ثابت (جو) گرما می دهیم.

شما می توانید به جای محور گرما، محور زمان را به کار ببرید و همین نتیجه را می گیرید. چنانچه هنرجویان شما کشش داشتند شما می توانید روش به دست آوردن مقدار گرما برای تغییر فاز را نیز آموزش دهید. توجه داشته باشید دمای منفی را زیر تقاطع دو محور نیز می توان رسم نمود.

بهتر است پس از ترسیم نمودار نقطه ذوب یا انجماد، نقطه جوش، گرمای نهان و گرمای محسوس را توضیح دهید.



## پرسش و پاسخ

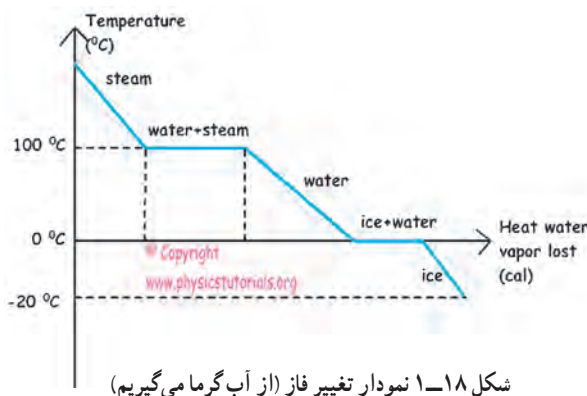
- ۱- مفهوم نمودار فازی را بیان کنید؟
- ۲- پیش فرض رسم نمودار فازی چند نکته است؟ آنها را بیان کنید.
- ۳- چنانچه به جای محور گرما عامل زمان را در نمودار دما گرما داشته باشیم به لحاظ ظاهری نمودار چه تغییری می کند؟

## دانش افزایی

## الف) نمودار فازی

نمودارهای فازی یک روش متداول برای ثبت اطلاعات مربوط به فازهای مواد و استفاده از آنهاست. نمودار فازی آب (Phase diagram of water) نموداری است که در آن ارتباط بین فازهای مختلف آب بررسی می شود. آب در دماهای مختلف

حالت گاز، مایع و جامد در طبیعت وجود دارد. نوع تبدیل آنها به یکدیگر، به خواص ترمودینامیکی بستگی دارد. در نمودار فازی به بررسی این خواص نیز پرداخته می‌شود. همان‌طور که مشخص است، بیشتر مواد در بیشتر از یک فاز موجود می‌باشند (فاز قسمتی از ماده است که دارای خواص فیزیکی و شیمیایی یکسان می‌باشد). نمودارهای فازی بر حسب نیاز می‌تواند از دیدگاه‌های متفاوت فشار، دما، حجم مخصوص، آنتروپی و... رسم شود.



شکل ۱۸-۱ نمودار تغییر فاز (از آب گرما می‌گیریم)

### ب) نقطه ذوب یا انجماد

به دمایی که در آن، دما به طور کامل از حالت جامد به مایع (یا بالعکس) تبدیل می‌شود دمای ذوب یا دمای انجماد می‌گویند. دمای ذوب یا انجماد در نمودارهای فازی به عنوان نقطه ذوب یا نقطه انجماد مطرح می‌شود. تعریف یک دما به عنوان دمای ذوب یا دمای انجماد به دیدگاه ما بستگی دارد. هنگام گرم کردن، این نقطه، نقطه ذوب و هنگام سرد کردن نقطه انجماد است. توجه کنید تمامی نقاطی که روی خط میان فاز مایع و جامد قرار دارند همگی بیانگر نقطه ذوب و انجماد هستند. نقطه ذوب و انجماد همیشه برای مواد خالص در نظر گرفته می‌شود. ناخالصی و فشار روی نقطه ذوب یا انجماد تأثیر می‌گذارد. در حین ذوب شدن یا منجمد شدن دمای جسم ثابت می‌ماند. فشار بر نقطه ذوب یا انجماد مواد تأثیرگذار است. با بالا رفتن فشار نقطه ذوب یا انجماد نیز بالا می‌رود. (البته در مورد بعضی مواد مثل آب (یخ) استثنا وجود دارد و آن اینکه با بالا رفتن فشار نقطه ذوب آن پایین می‌آید). با کاهش فشار، نقطه ذوب یخ افزایش می‌یابد، به همین دلیل، یخ‌ها در کوه دیرتر آب می‌شوند، زیرا فشار هوا در آن محل کمتر است.

### پ) نقطه جوش

نقطه جوش یک ماده، دمایی است که در آن فشار بخار مایع با فشار بخار اطراف مایع یکسان می‌شود و مایع آماده تبدیل به بخار می‌شود. در این دما جنبش مولکول‌های مایع به بیشینه مقدار ممکن می‌رسد. با افزایش فشار، دمای نقطه جوش مایع افزایش و با کاهش فشار دمای نقطه جوش کاهش می‌یابد به طوری که در خلأ دمای نقطه جوش کمترین مقدار خود را دارد. برای مثال چنانچه بتوانیم فشار را به  $26 \text{ kPa}$  برسانیم دمای جوش آب به  $1^\circ \text{C}$  می‌رسد.

### ت) گرمای نهان

گرمای نهان، گرمایی است که ماده در هنگام تبدیل از حالتی به حالت دیگر از دست داده و یا جذب می‌کند. نام دیگر گرمای نهان «گذار فازی» است. گرمای جذب شده توسط یک جامد در هنگام مایع شدن در نقطه ذوب را گرمای نهان ذوب و گرمای جذب شده توسط یک مایع برای تبدیل شدن به بخار در فشار یک اتمسفر و در نقطه جوش را گرمای نهان تبخیر می‌گویند. این تغییر زمانی که تغییر فاز جامد به مایع داریم گرماگیر و در جهت عکس گرماده است. انرژی ای که قبلاً برای تبخیر شدن گرفته شده بود به صورت گرمای محسوس آزاد می‌شود. این گرما به منظور غلبه بر نیروی جاذبه نگهدارنده اتم‌ها در مکان‌های بلورین منظم مورد نیاز است.



معادله گرمای نهان ذوب به این صورت است:  $Q = mL$

•  $Q$  مقدار انرژی دریافتی یا آزاد شده هنگام تغییر فاز (ژول)

•  $m$  جرم ماده مورد نظر

•  $L$  گرمای نهان ویژه یک ماده مشخص (J/kg)

**ت) گرمای محسوس**

اگر نتیجه افزایش یا کاهش گرمای یک ماده فقط تغییرات دمای ماده باشد و در ماده هیچ گونه تغییر حالتی روی ندهد، به آن گرمای محسوس گویند. کلمه محسوس در مورد گرمایی به کار گرفته می شود که بتوان اثر آن را با یک دماسنج ملاحظه نمود.

### پرسش و پاسخ

۱- دمای نقطه ذوب و دمای نقطه انجماد را روی نمودار فازی آب مشخص کنید.

۲- علت اینکه برف ها روی کوه دیرتر آب می شوند کدام است؟

۳- چرا به محض در آوردن ظرف نوشابه از داخل فریزر یخچال و باز کردن آن نوشابه یخ می زند؟

چون بعد از مدتی دمای آن به زیر صفر درجه سلسیوس می رسد اما چون فشار داخل ظرف زیاد است منجمد نمی شود زیرا با افزایش فشار وارد بر آب دمای انجماد آن کاهش می یابد. یعنی در این شرایط آب داخل ظرف در صفر درجه سلسیوس منجمد نمی شود بلکه در دمای زیر صفر برای مثال  $7^{\circ}\text{C}$  منجمد می شود. بنابراین اگر دمای فریزر  $5^{\circ}\text{C}$  باشد نمی تواند نوشابه را منجمد کند. حال اگر این نوشابه را باز کنیم فشار سریعاً کم می شود پس دمای انجماد دوباره به عدد صفر برمی گردد در حالی که دمای نوشابه  $7^{\circ}\text{C}$  می باشد در نتیجه نوشابه به یکباره منجمد می شود.

## ۶-۱- بخار اشباع و مایع اشباع

### روش آموزش

هنرآموزان گرمای بهتر است ابتدا نمودار فشار-دمای آب را رسم نموده و مشخصات فشار و دمای دو سر خط اشباع که مرز

بین مایع بخار می باشد نوشته و توضیح دهند که هر نقطه اشباع وابسته به دو پارامتر دما و فشار است.

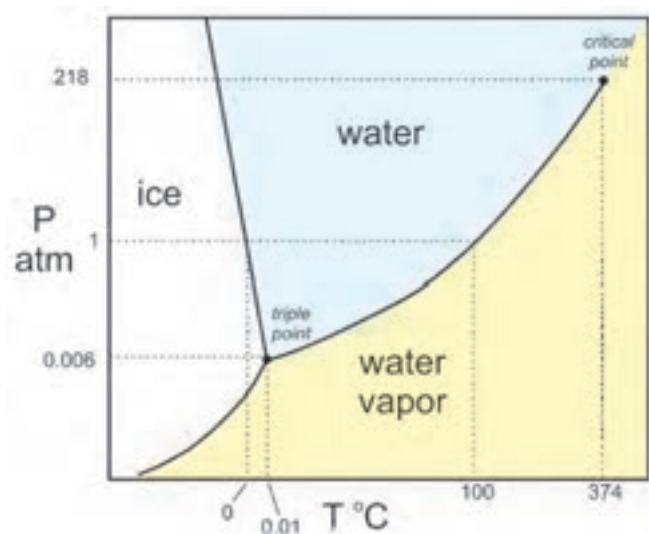
برای مثال: (  $100^{\circ}\text{C}$  , ۱ atm ) یا (  $374^{\circ}\text{C}$  , ۲۱۸ atm ) یا (  $0/01^{\circ}\text{C}$  , ۰/۰۰۶ atm )

### پرسش و پاسخ

۱- آب با دمای  $100^{\circ}\text{C}$  در کدام حالت است؟ سوپر هیت  سابکولد  بستگی به فشار دارد

۲- آب در کدام شرایط سوپر هیت است؟ (  $1^{\circ}\text{C}$  , ۰/۰۰۵ atm )  (  $100^{\circ}\text{C}$  , ۲ atm )

به عبارت ساده «دمای اشباع به معنی نقطه جوش» می‌باشد. (با توجه به نمودار، حد فاصل  $t_p$  تا  $c_p$  نقطه جوش است.) دمای اشباع، دمایی متناظر با فشار اشباع است که در آن یک مایع در حال جوش به بخار تبدیل می‌شود. همچنین می‌توان گفت: این مایع از انرژی گرمایی اشباع شده است و گرمای اضافه صرف تبدیل به تغییر فاز می‌شود. همانطور که گفته شد نمودارهای فازی با توجه به کاربرد با پارامترهای متفاوت رسم می‌شوند در این قسمت نمودار فشار-دما آمده است.



شکل ۲۱-۱ نمودار فازی فشار-دما برای آب

همان‌طور که از نمودار فشار-دمای آب مشخص است چنانچه ما روی خط اشباع باشیم به هر دلیل (کاهش فشار یا افزایش دما) وارد منطقه زرد رنگ شویم وارد منطقه سوپرهیت شده ایم و چنانچه به هر دلیل (افزایش فشار یا کاهش دما) وارد منطقه آبی رنگ شویم وارد منطقه سابکولد شده ایم.

در نمودار فازی فشار-دما نقطه‌ای به نام نقطه بحرانی<sup>۱</sup> تعریف می‌شود که در بالای آن، ماده به هیچ‌وجه نمی‌تواند به مایع تبدیل شود. این موضوع به این معناست که منحنی فشار بخار باید در این نقطه تمام شود. بالاترین دمایی که در آن گاز و مایع می‌توانند با یکدیگر در تعادل باشند، به عنوان نقطه بحرانی شناخته می‌شود. فشاری که برای مایع کردن گاز در دمای بحرانی مورد نیاز است را فشار بحرانی می‌گوییم. اطلاعات مربوط به فشار و دمای بحرانی را در روی نمودار به عنوان نقطه بحرانی تعریف می‌کنیم. در دماهای بالاتر از نقطه بحرانی، ماده را به عنوان سیال فوق بحرانی<sup>۲</sup> نام‌گذاری می‌کنند. رفتار ماده در این حالت بسیار جالب است. یک سیال فوق بحرانی کشش سطحی نداشته و لزجت بسیار کمی دارد، در حالی که چگالی آن هنوز همان چگالی مایع بوده و حلال بسیار خوبی می‌باشد. از این خاصیت در بعضی از رآکتورها استفاده می‌شود.

۱- Critical Point

۲- Super Critical fluid

## ۱-۷ نمودار دما-حجم

## روش آموزش

هنرآموزان گرامی بهتر است ابتدا تفاوت حجم مخصوص و حجم را توضیح دهند سپس مختصات دما-حجم مخصوص را رسم نموده و بر اساس جدول  $1-2^{\circ}$  در هر دما حجم مخصوص مایع اشباع  $V_f$  و حجم مخصوص بخار اشباع  $V_g$  را مشخص نموده سپس با اتصال نقاط به یکدیگر نمودار دما-حجم مخصوص آب را رسم نمایید. پس از آن خط‌های فشار ثابت را بکشید. (برای کشیدن خط‌های فشار ثابت می‌توان به مشابهت تقریبی آن با خط فشار ثابت نمودار دما-گرما اشاره کرد.) و مناطق مایع سابکولد، بخار سوپرهیت و منطقه بین مایع اشباع و بخار اشباع را مشخص نمایید. پس از رسم هنرجویان متوجه تغییرات زیاد دمای اشباع بخار و تغییرات کم دما اشباع مایع خواهند شد. همچنین چون در دماهای پایین  $V_g$  بسیار بالا است رسم منحنی با مقیاس فضای زیادی نیاز دارد که از مقیاس صرف نظر می‌کنند.

جدول  $1-2^{\circ}$  حجم مخصوص در فشارهای متفاوت

PMPa	$T^{\circ}C$	$v_f \frac{dm^3}{Kg}$	$v_g \frac{dm^3}{Kg}$
۰/۰۰۰۶۱۱۳	۰/۰۱	۱/۰۰۰	۲۰۶۱۴۰
۰/۱	۹۹/۶۳	۱/۰۴۳	۱۶۹۴
۱	۱۷۹/۹۱	۱/۱۲۷	۱۹۴
۱۰	۳۱۱/۰۶	۱/۴۵۲	۱۸
۲۲/۰۹	۳۷۴/۱۴	۳/۱۵۵	۳/۱۵۵

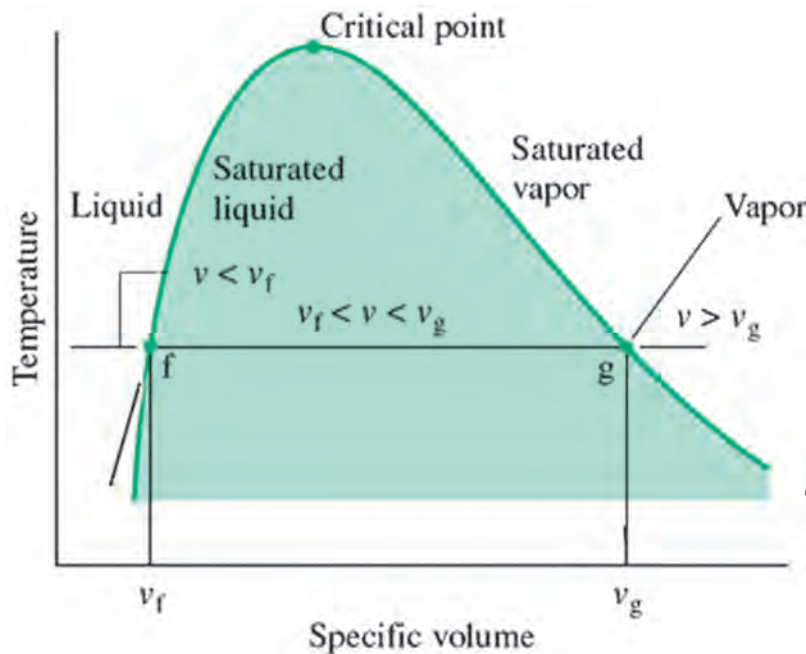
## پرسش و پاسخ

۱- حجم مخصوص آب در  $100^{\circ}$  درجه سلسیوس  $\frac{dm^3}{Kg}$   $800$  است. آب در کدام فاز قرار دارد؟  
 سوپرهیت  سابکولد  بین مایع و بخار

## دانش افزایی

## الف) نمودار دما-فشار

می‌دانیم معادله مشخصه  $(PV=nRT)$  رابطه‌ای بین متغیرهای  $P, T, V$  است. در مبحث قبل نمودار فازی فشار-دما آمد. یکی دیگر از نمودارهای فازی آب، نمودار دما-حجم می‌باشد. برای آنکه مقدار آب بر روی نمودار تأثیر نگذارد به جای حجم کل از محور حجم مخصوص  $(v)$  استفاده می‌شود. همان‌طور که می‌دانیم حجم مخصوص، حجم واحد جرم می‌باشد  $(v=V/m)$  و عکس چگالی است  $(\rho=\frac{1}{v})$ .



شکل ۱-۲۱ نمودار فازی دما-حجم مخصوص

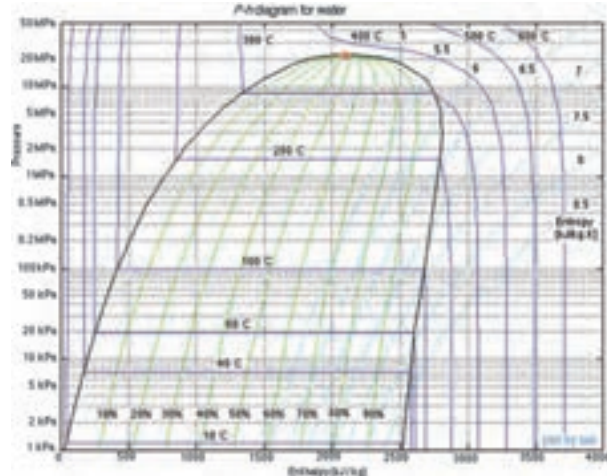
چنانچه در دمای اشباع (خط fg) ماده بین مایع اشباع  $v_f$  و بخار اشباع  $v_g$  باشد آن ماده دارای کیفیت است. کیفیت (x) بدین صورت تعریف می‌شود: نسبت جرم بخار به جرم کل برای مثال: چنانچه جرم بخار ۲۵٪ کیلوگرم و جرم کل ۱ کیلوگرم باشد، کیفیت ۲۵٪ یا ۲۵ درصد است.

$$x = \frac{v - v_f}{v_g - v_f} = \frac{80 - 1}{1673 - 1} = 0.48$$

کیفیت ۴۸٪ بدین معنی است که ما ۴۸ درصد بخار داریم.

### ب) نمودار فشار-آنتالپی

آنتالپی (اندرتافت) مقدار گرمای کل یک سیستم در فشار ثابت است. واحد اندازه‌گیری آنتالپی در سامانه استاندارد بین‌المللی یکاها ژول (J) نام دارد. توجه کنید تغییر آنتالپی در طول فرایند هم‌فشار برابر مقدار گرمایی است که منتقل می‌شود. آنچه که ما به عنوان گرمای نهان (ذوب یا جوش) می‌شناسیم، همان تغییر آنتالپی است.



شکل ۱-۲۲ نمودار فازی فشار-آنتالپی

در نمودار دما-گرما برای آب در فشار جو در دمای  $100^\circ$  درجه سلسیوس اختلاف گرمای  $h_{fg} = 3053 - 797 = 2256 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$  همان اختلاف آنتالپی بخار اشباع و مایع اشباع است.

چون در سیستم‌های تبرید کاربرد فرایندهای هم‌فشار بیشتر از کاربرد فرایندهای هم‌حجم می‌باشد لذا در این قسمت یکی از مهم‌ترین نمودارهای هم‌فشار که نمودارهای فشار-آنتالپی است، شناسانده خواهد شد. در شکل ۱-۲۲ نمودار فشار-آنتالپی برای آب آمده است:

در این نمودار خط‌های افقی نشان‌دهنده فشار و خط‌های عمودی نشان‌دهنده آنتالپی می‌باشند. خط‌های آبی نشانه دما و خط‌های نشانه کیفیت (بر حسب درصد) است. همچنین خط‌های نیلی رنگ نشانه آنتروپی است. در بعضی از نمودارها حجم مخصوص نیز آمده است. در این نمودار نیز همانند نمودار دما-حجم مخصوص سه قسمت مایع سابکولد، بخار سوپرهیت و حالت بین مایع و بخار آمده است.

### پ) آنتروپی (S)

آنتروپی کمیتی ترمودینامیکی است که اندازه‌ای برای درجه بی‌نظمی در هر سیستم است. هرچه درجه بی‌نظمی بالاتر باشد، آنتروپی بیشتر است. بنابراین برای یک ماده معین در حالت تعادل درونی کامل در هر حالت، داریم: آنتروپی جامد > آنتروپی مایع > آنتروپی گاز واحد آنتروپی در سیستم SI، ژول بر کلوین است. (J/K)

مثال: تغییر آنتروپی آب در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس از مایع اشباع تا بخار اشباع چند کیلوژول بر کلوین است؟

$$dS = \frac{dQ}{T} = \frac{2256}{100 + 273/15} = 6/04 \frac{kJ}{K}$$

## ۸-۱- فشار

### پیش‌آزمون

- ۱- آیا تا به حال با کفش ورزشی میخ‌دار روی برف راه رفته‌اید؟
- ۲- آیا تا به حال از خود پرسیده‌اید که چرا چاقو دست را می‌برد؟

### روش آموزش

هنرآموزان گرامی به این نکته توجه داشته باشند که هنرجویان مفهوم فشار و بعضی از واحدهای اندازه‌گیری آن را در درس‌های دیگر به‌ویژه فیزیک (۲) خوانده‌اند و یادآوری آن در این بخش مفید است. اما ما می‌توانیم به روش زیر موضوع فشار را مطرح کنیم:

- ۱- تعریف فشار و مثال در مورد فشار بلوک مکعبی و نوک تیز با جرم برابر و فشار متفاوت
- ۲- ما در اینجا روی فشار شماره‌ها بحث می‌کنیم.
- ۳- تاریخچه کوتاه فشارسنجی و آزمایش توریچلی و ترسیم شکل بارومتر توریچلی در کنار دریا و قله اورست
- ۴- عوامل مؤثر بر فشار در مایع و گاز
- ۵- انواع فشار
- ۶- خلأ
- ۷- روش اندازه‌گیری انواع فشار (فشارسنجی)
- ۸- یکاهای فشار
- ۹- دقت اندازه‌گیری گیج فشار نسبی

### کار در کلاس

- ۱- در تهران فشار یک محفظه با یک گیج نسبی ۰/۶bar - اندازه‌گیری شده است. فشار مطلق تهران در آن لحظه (از سایت‌های هواشناسی) ۰/۸۷bar گزارش شده است. فشار مطلق محفظه چند bar می‌باشد؟

$$P_a = P_g + P_b = -0/6 + 0/87 = 0/27 \text{ bar}$$

- ۲- بعضی از کاربران خلأ در درخواست خود عنوان می‌کنند که به فشار ۱- بار نیاز دارند:

$$P_a = P_g + P_b = -1 + 0.87 = -0.13 \text{ bar}$$

چون فشار مطلق نمی‌تواند منفی باشد. پس رسیدن به فشار ۱- بار در تهران ممکن نیست ولی در بندرعباس با فشار گزارش شده ۱۰۱۰ میلی بار، دستیابی به فشار ۱- بار ممکن است :

$$P_a = P_g + P_b = -1 + 1.0 = 0.1 \text{ bar}$$

## دانش‌افزایی

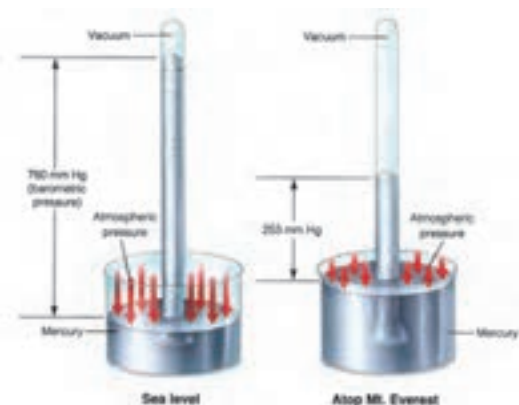
### الف) تعریف فشار

فشار نیروی عمود بر واحد سطح است. در جامدات بیشتر از اصطلاح تنش به جای فشار استفاده می‌شود.

### ب) تاریخچه فشارسنجی

اوان جلیستا توریچلی<sup>۱</sup> (۱۶۴۷-۱۶۰۸) از اولین کسانی است که به صورت علمی بر روی فشارسنجی تحقیقات گسترده‌ای انجام داد. او به توصیه گالیله بر روی پمپ‌های هیدرولیکی تحقیقاتی انجام داد و مشاهده نمود که بیشترین ارتفاع مکش پمپ آب ۱۰ متر است و چنانچه ارتفاع مکش بیشتر شود آب توسط پمپ بالا نمی‌آید. او نتیجه گرفت که هوا وزن دارد و وزن هوا باعث فشار روی مکش پمپ شده و آب را بالا می‌آورد. او برای تکمیل نظریه خود یک لوله شیشه‌ای به طول یک متر را پر از جیوه کرد، (علت انتخاب جیوه این بود که چگالی جیوه حدود ۱۳/۶ برابر آب است و اگر می‌خواست از آب استفاده کند لوله‌ای به طول ۱۴ متر نیاز داشت که ساخت آن مشکل‌ساز بود). توریچلی در کنار دریا لوله را پر از جیوه نمود و انگشت خود را روی سر آن گذاشته و لوله را داخل تشتک جیوه برگرداند. او مشاهده کرد که جیوه تا ارتفاع ۷۶ سانتی متر پایین آمد و متوقف شد و بالای لوله خالی ماند. نظریه او در مورد وزن هوا اثبات شد و گفت فشار هوا نگذاشت که جیوه پایین‌تر بیاید. (شکل ۲۳-۱)

پاسکال<sup>۲</sup> (۱۶۶۲-۱۶۲۳) نیز مطالعاتی در زمینه هواسنج و فشار هوا دارد که بسیار مهم است. فراموش نباید کرد که پاسکال کسی بود که برای اولین بار به اختلاف فشار هوا در ارتفاعات و نقاط هم‌سطح دریا پی برد. او با این جمله، پیش‌بینی خود را اعلام کرد : حقیقت ساده‌ای وجود دارد و آن این است که فشار هوا در ارتفاعات، کمتر از فشار هوا در دشت، یا نقاط هم‌سطح دریا است.



شکل ۲۳-۱ بارومتر توریچلی که فشار را در سطح دریا و در قله اورست نشان می‌دهد.

**پ) عوامل مؤثر بر فشار**

عوامل مؤثر بر فشار در شاردها، چگالی و ارتفاع مایع می باشد که در یک ظرف حاوی مایع با چگالی  $\rho$  و ارتفاع  $h$  از رابطه زیر به دست می آید :

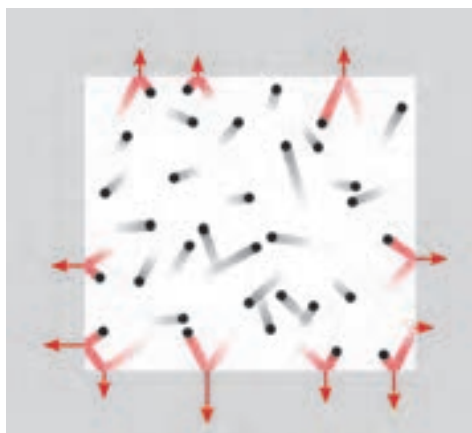
$$P = \frac{F}{A} = \frac{m \cdot g}{A} = \frac{\rho \cdot V \cdot g}{A} = \frac{\rho \cdot A \cdot h \cdot g}{A} = \rho \cdot g \cdot h$$

در گازها مولکول های گاز از طریق انرژی جنبشی مولکول ها، به سطح ظرف ضربه یا نیرو وارد می کنند. هرچه دما بالاتر باشد مولکول ها با سرعت بیشتری حرکت می کنند و به دیواره ظرف نیروی بیشتری وارد می نمایند. از آنجا که فشار گاز از جنبش مولکولی ناشی می شود و همچنین جنبش مولکولی به صورت مستقیم با دما رابطه دارد، بر اساس تئوری جنبشی گازها، فشار گاز برابر است با :

$$PV = nRT = \frac{1}{3} N m u^2 \rightarrow P = \frac{1}{3} \times \frac{N}{V} m u^2$$

در این معادله  $m$  جرم مولکول بر حسب گرم،  $u$  سرعت متوسط مولکول ها بر حسب  $\frac{cm}{sec}$  و  $\frac{N}{V}$  دانسیته مولکولی ( $N$  عدد آووگادرو،  $V$  حجم گاز) بر حسب تعداد بر سانتی متر مکعب است.

همانگونه که در معادله مشاهده می شود رابطه فشار با دما، حجم و سرعت مولکول ها داده شده است و برای مثال چنانچه سرعت مولکول ها دو برابر شود، فشار چهار برابر می شود.



شکل ۲۴-۱ فشار وارده توسط برخورد ذرات درون یک فضای بسته

**ت) انواع فشار**

فشار در شاردها بر چهارگونه جو، نسبی، مطلق و تفاضلی می باشد :

۱- فشار جو<sup>۱</sup> : جو یا اتمسفر زمین لایه ای از گازها است که زمین را احاطه کرده اند که این گازها به وسیله جاذبه زمین نگهداشته شده اند. مرز دقیقی بین لایه های جو وجود ندارد و با افزایش ارتفاع جو رقیق می شود و هیچ مرز مشخصی بین جو و فضای خارج از جو وجود ندارد. ۷۵٪ از جو زمین تا ارتفاع ۱۱ کیلومتر از سطح زمین است. فشار جو نتیجه مستقیمی از وزن هواست. این به این معنی است که به همراه مکان و زمان فشار جو تغییر می کند چون وزن هوای بالای زمین به همراه مکان و زمان تغییر می کند. پس فشار جو تابعی از ارتفاع، دما، رطوبت هوا و... است. این فشار را فشار محیط یا فشار محلی یا فشار بارومتر<sup>۲</sup> نیز می نامند و برای نمایش آن از حرف  $b$  استفاده می کنند. در جدول ۲۵-۱ ارتفاع و فشار متناسب با آن همچنین دمای آن نقطه در جو آمده است.

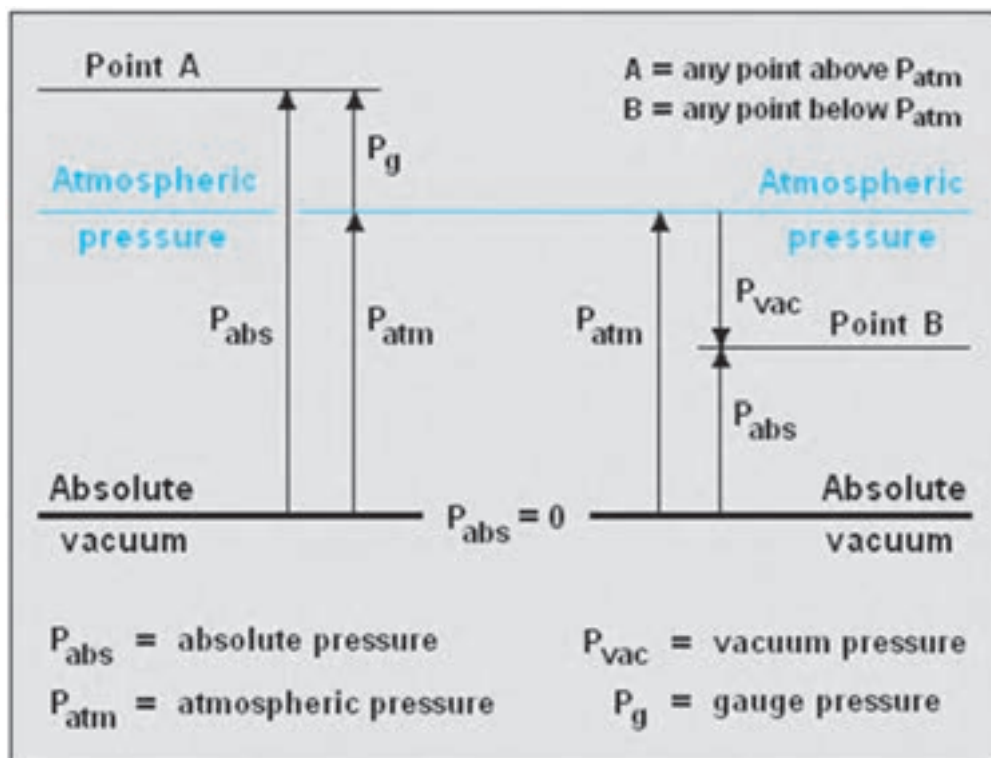
جدول ۱-۲۵ فشار و دمای متناظر با ارتفاع

Altitude (feet)	Pressure (in/Hg)	Pressure (mm/Hg)	Pressure (psi)	Temperature (°C)	Temperature (°F)
Sea Level	29.92	760.0	14.69	15.0	59.0
10,000	20.58	522.6	10.11	-4.8	23.3
18,000	14.95	379.4	7.34	-20.7	-5.3
20,000	13.76	349.1	6.75	-24.6	-12.3
25,000	10.51	281.8	5.45	-34.5	-30.1
30,000	8.90	225.6	4.36	-44.4	-48.0
34,000	7.40	187.4	3.62	-52.4	-62.3
35,332	6.80	175.9	3.41	-55.0	-67.0
40,000	5.56	140.7	2.72	-55.0	-67.0
43,000	4.43	119.0	2.30	-55.0	-67.0
50,000	3.44	87.3	1.69	-55.0	-67.0

۲- فشار نسبی<sup>۱</sup>: فشار نسبی، فشاری است که صفر آن، فشار محلی است. چون این فشار با فشارسنج‌های معمولی قابل اندازه‌گیری است آن را فشار، فشارسنج نیز می‌نامند.

۳- فشار مطلق<sup>۲</sup>: فشار مطلق، فشاری است که صفر آن خلأ کامل است.

رابطه بین سه فشار نامبرده برابر است با:  $P_{ab} = P_g + P_b$



شکل ۱-۲۶ انواع فشار و رابطه آنها با یکدیگر



**ث) خلأ (Vacuum)**

خلأ به فضایی گفته می‌شود که خالی از ماده باشد. در چنین حالتی مولکول‌های هوا که عامل ایجاد فشار می‌باشند نیز وجود ندارند. این تعریف ایده‌آل خلأ می‌باشد. فشار صفر مطلق، در این فضا تعریف می‌شود. در عمل رسیدن به چنین محیطی امکان‌پذیر نیست زیرا همیشه تعدادی مولکول گاز وجود دارند. در اصطلاح به فشارهای پایین‌تر از فشار اتمسفر هوا، حالت خلأ گفته می‌شود. با این وصف فشار مابین فشار اتمسفر (جو) و صفر مطلق را می‌توان حوزه سیستم‌های وکیوم دانست. خلأ بسته به فشار گاز به چند دسته تقسیم‌بندی می‌شود. میزان خلأ روی ماه یک نانو پاسکال است. پایین‌ترین فشار قابل دستیابی تاکنون در محیط آزمایشگاهی و دمای استاندارد، حدود سیزده پیکو پاسکال می‌باشد. البته در سیستم‌های دمای پایین (در حدود ۴ کلوین) فشارهای کمتری نیز به صورت غیرمستقیم اندازه‌گیری شده‌است. از آنجا که فشار گاز از جنبش مولکولی ناشی می‌شود و همچنین جنبش مولکولی به صورت مستقیم با دما رابطه دارد، فشارهای بسیار پایین را می‌توان در دماهای نزدیک به صفر مطلق تجربه نمود.

**ج) فشارسنج‌ها**

برای اندازه‌گیری فشار و خلأ دستگاه‌های اندازه‌گیری متفاوتی ساخته شده‌است که براساس بازه اندازه‌گیری، بازه دمای عملکرد و از همه مهم‌تر نوع فشار اندازه‌گیری طبقه‌بندی می‌شوند. در زیر به چند نمونه آنها اشاره می‌شود:

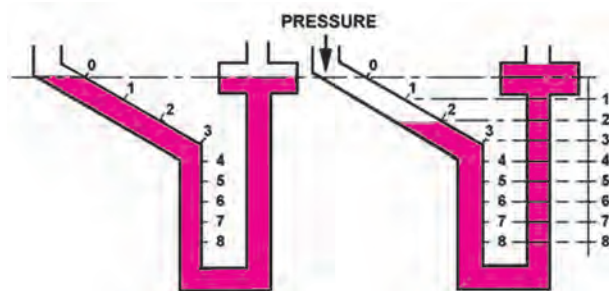


شکل ۲۷-۱ بارومتر ساعتی

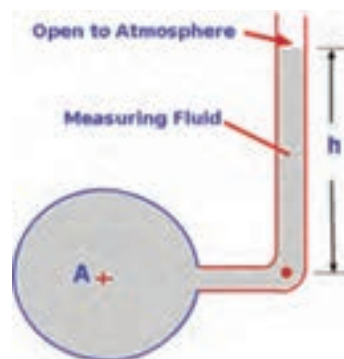
۱- بارومتر: برای اندازه‌گیری فشار جو از آن استفاده می‌شود. مقدار هوا همواره

در حال تغییر است در نتیجه وزن آن که همان فشار هواست به طور مداوم تغییر می‌کند. تغییر در فشار هوا باعث تغییر در شرایط آب و هوایی می‌شود که این تغییرات را با بارومتر نشان می‌دهند. بارومترها به گونه‌ای زینه‌بندی می‌شوند که فشار در ارتفاعات و دره‌ها را نمایش دهند. ساده‌ترین نوع بارومتر، همان فشارسنج توریجلی است. چون حمل این بارومتر سخت است از بارومترهای دیگری نظیر بارومتر ساعتی استفاده می‌شود.

۲- پیزومتر: ساده‌ترین وسیله اندازه‌گیری فشار پیزومتر است. پیزومتر یک لوله شفاف می‌باشد که به صورت عمودی به مخزن یا لوله‌ای که می‌خواهیم فشار آن را اندازه‌گیری کنیم متصل می‌شود. از پیزومتر برای اندازه‌گیری فشار مایعات استفاده می‌شود. برخلاف بارومتر، در پیزومتر انتهای لوله باز می‌باشد. پیزومتر ممکن است قائم یا شیب‌دار باشد.



شکل ۲۹-۱ پیزومتر شیب‌دار



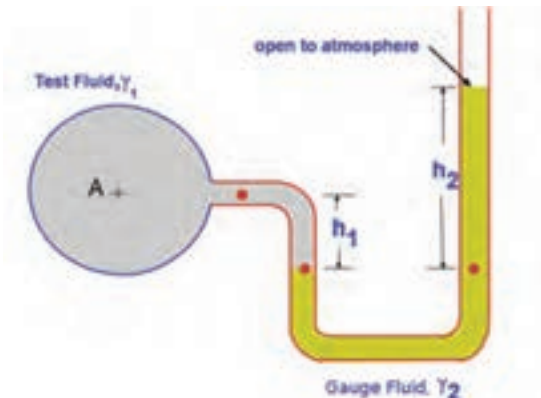
شکل ۲۸-۱ پیزومتر قائم

معادله فشار نسبی که در مخزن A در پیزومتر نشان داده شده را بیابید.

$$P_A - P_{atm} = \rho \cdot g \cdot h$$

۳- مانومتر (U-tube): لوله یو جایگزینی مناسب برای پیزومتر است. در لوله یو از یک مایع غیرقابل اختلاط با سیال

استفاده می‌شود.



شکل ۱-۳۰ لوله یو

معادله فشار نسبی در مخزن گاز A در لوله U نشان داده شده را بیابید.

$$P_A + \rho_1 \cdot g \cdot h_1 = P_{atm} + \rho_2 \cdot g \cdot h_2$$

چون چگالی گاز در برابر چگالی مایع ناچیز است می‌توان از آن صرف نظر کرد و چون فشار نسبی مد نظر است پس:

$$P_A - P_{atm} = \rho_2 \cdot g \cdot h_2$$

۴- فشارسنج بوردون (Bourdon gauge): در سال ۱۸۴۹ میلادی این اختراع به نام ایگنه بوردون در فرانسه ثبت شد و

به دلیل حساسیت عالی، عملکرد خطی و درستی آن به طور گسترده‌ای از آن در اندازه‌گیری فشار استفاده می‌شود. برای اندازه‌گیری اختلاف فشار نیز می‌توان از فشارسنجی که دارای دو لوله بوردون مختلف که به طور مناسبی با هم ارتباط دارند استفاده کرد. اگر داخل لوله وکیوم شود از آن برای اندازه‌گیری فشار اتمسفر می‌توان استفاده کرد.



شکل ۱-۳۱ فشارسنج تفاضلی بوردون

انواع دیگری نیز از فشارسنج‌ها مانند فشارسنج الکترونیکی رایج است که در زمان این قسمت نمی‌گنجد.

## ج) یکاهای فشار

بسته به کشور، جنس شاره، خلأ و کاربرد آن از یکاهای فشار متفاوتی استفاده می‌شود. برای مثال برای فشار خون بیشتر از یکای میلی‌متر جیوه ولی برای فشار گاز داخل لوله از اینچ‌آب استفاده می‌شود. واحد فشار در سیستم SI،  $\frac{N}{m^2}$  که به پاس فعالیت‌های بلز پاسکال، پاسکال Pa نامیده شد. چون این واحد کوچک است از کیلوپاسکال و مگاپاسکال بیشتر استفاده می‌شود. (یک پاسکال در حدود فشاری است که یک اسکناس روی میز می‌آورد.)  
اولین یکای فشار میلی‌متر جیوه (mmHg) است که توسط توریچلی اندازه‌گیری شد و به پاس او آن را تور (Torr) نیز می‌نامند.

زمانی که گویند فشار خون  $120 \frac{mmHg}{\text{tor}}$  است به این معناست که فشار ماکزیمم  $120 \text{tor}$  و فشار مینیمم  $70 \text{tor}$  است. فشار خون در نقاط مختلف بدن یکسان نیست و معیار رایج بازو که هم‌تراز با قلب است می‌باشد.  
از یکاهای دیگر اینچ جیوه (inHg) است که فشار هوا برابر  $29.92$  اینچ جیوه می‌باشد.

$$P_{\text{inHg}} = \frac{760}{25.4} = 29.921$$

با توجه به ارتفاع جیوه در آزمایش توریچلی فشار هوا را بر حسب پاسکال برابر است با:  
(جرم ویژه در دمای صفر درجه سلسیوس  $1359/51$  کیلوگرم بر مترمکعب)

$$P = \rho \cdot g \cdot h = 13595/1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9/80665 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0/760 = 101325 \text{ pa}$$

و چنانچه به جای جیوه از آب استفاده کنیم فشار جو بر حسب متر ستون آب (water column) برابر است با:

$$\rho_1 \cdot g \cdot h_1 = \rho_2 \cdot g \cdot h_2 \rightarrow h_2 = \frac{\rho_1}{\rho_2} \times h_1 = \frac{13595/1}{1000} \times 0/760 = 10/332 \text{ m}$$

فشار هوا در کنار دریا یک اتمسفر است که آن را اتمسفر استاندارد نیز نامیده و با (atm) نشان می‌دهند.

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg} = 760 \text{ Torr} = 29/92 \text{ inHg} = 10/332 \text{ mwc}$$

در تعریف فشار، نسبت نیرو به واحد سطح آمده است بنابراین:

$$1 \text{ N} = \frac{1}{9/80665} = 0/101971 \text{ Kg}_f$$

$$P = \frac{F}{A} = \frac{1 \text{ N}}{1 \text{ m}^2} = 1 \text{ Pa} = \frac{0/101971 \text{ Kg}_f}{10000 \text{ cm}^2} = 1/0197 \times 10^{-5} \frac{\text{Kg}_f}{\text{cm}^2}$$

کیلوگرم نیرو بر سانتی‌متر مربع را اتمسفر فنی نیز می‌نامند و با نماد (at) نشان می‌دهند.

فشار جو:

$$1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa} = 101325 \times 1/0197 \times 10^{-5} \frac{\text{Kg}_f}{\text{cm}^2} = 1/0332 \frac{\text{Kg}_f}{\text{cm}^2}$$

$$1 \text{ Lb} = 0/45359237 \text{ Kg} \rightarrow 1 \text{ Kg} = 2/204622 \text{ Lb} \rightarrow 1 \text{ Kg}_f = 2/204622 \text{ Lb}_f$$

$$1 \text{ atm} = 1/0332 \frac{\text{Kg}_f}{\text{cm}^2} = \frac{1/0332 \times 2/204622 \text{ Lb}_f}{1 \text{ cm}^2 \times \frac{1 \text{ in}^2}{2/54 \times 2/54 \text{ cm}^2}} = 14/69 \frac{\text{Lb}_f}{\text{in}^2} = 14/69 \text{ Psi}$$

Psi مخفف پوند نیرو بر اینچ مربع

در دستگاه CGS یکای نیرو دین (dyne) است :

$$1N = 1Kg \times \frac{1m}{s^2} = 1000gr \times \frac{10^{-2}cm}{s^2} = 10^5 \frac{gr \cdot cm}{s^2} = 10^5 \text{ dyne}$$

$$1Pa = \frac{1N}{m^2} = 1 \times \frac{10^5 \text{ dyne}}{10000cm^2} = 10 \frac{\text{dyne}}{cm^2}$$

دین بر سانتی متر مربع را باری (Barye) می نامند و با نماد (Ba) نشان می دهند.

در سال ۱۹۰۹ یک هواشناس به نام ویلیام ناپیر شاو پیشنهاد یکایی به نام بار (bar) را که برابر یک میلیون دین بر سانتی متر مربع

است را داد، بنابراین :

$$1Pa = 10 \frac{\text{dyne}}{cm^2} = 10 \times \frac{1}{10^6} \text{ bar} = 10^{-5} \text{ bar} \rightarrow 1 \text{ atm} = 101325 \text{ pa} = 1/0.1325 \text{ bar}$$

### ج) دقت اندازه گیری گیج فشار نسبی

پارامترهای زیادی از جمله دما، رطوبت، شرایط آب و هوایی، وزش باد، ارتفاع از سطح دریا و... فشار آتمسفر را تغییر می دهند و اندازه گیری دقیق فشار آتمسفر را با دشواری روبه رو می کند. با تغییر هر یک از این پارامترها نقطه صفر گیج جابه جا می شود و فشار خوانده شده مقدار واقعی نخواهد بود. حال فرض می کنیم تمامی پارامترهای بالا ثابت بوده، و تنها ارتفاع از سطح دریا تعیین کننده میزان فشار آتمسفر باشد. فشار آتمسفر در سطح دریا ۱ آتمسفر یا ۱۰۱۳ میلی بار است، با افزایش ارتفاع از سطح دریا این مقدار کاهش می یابد. برای مثال آتمسفر در تهران بین ۸۵° تا ۹۰° میلی بار می باشد.

گیج های فشار نسبی به غیر از مشکل وابسته بودن به فشار آتمسفر، مشکل دیگری نیز دارند و آن اینکه توانایی خواندن فشارهای کمتر از میلی بار را ندارند. بنابراین برای خواندن فشار پمپ و کیوم با دقت زیاد باید از گیج های دقیق تر مانند فشارسنج های الکترونیکی استفاده کرد.

به طور کلی از دو فشارسنج (گیج) برای خواندن فشار خلأ استفاده می شود، گیج فشار نسبی و گیج فشار مطلق. مقایسه این

دو گیج را می توان در جدول زیر مشاهده نمود :

مقایسه دو فشارسنج (گیج) برای خواندن فشار خلأ	
گیج فشار مطلق	گیج فشار نسبی
مقدار خوانده شده فشار توسط گیج فشار مطلق از فشار آتمسفر (فشار هوا در محل اندازه گیری) می باشد.	مقدار خوانده شده فشار توسط گیج فشار نسبی به مقدار فشار محیط بستگی دارد.
تغییر میزان فشار آتمسفر اثری بر روی فشار خوانده شده توسط این گیج ندارد.	کافی است فشار محیط کمی تغییر کند تا فشار در حال اندازه گیری توسط گیج فشار نسبی نیز دستخوش تغییر قرار گیرد.
برای انجام کارهای دقیق تر باید از این گیج استفاده کرد.	برای انجام کارهایی که تنها اندازه گیری مقدار تقریبی فشار کافی است، می توان از این گیج استفاده کرد.
این گیج فشار آتمسفر را مقدار واقعی آن در نظر می گیرد. با کاهش فشار، به سمت صفر می رود و هرگز از صفر پایین تر نمی رود.	این گیج فشار آتمسفر را مبدأ و نقطه صفر در نظر می گیرد و با کاهش فشار سیستم، مقادیر منفی را نشان می دهد.
اعداد نشان داده شده توسط این گیج مثبت است.	اعداد نشان داده شده توسط این گیج منفی است.