فصل اوّل

کلیات و تعاریف

هدف‌های رفتای: پس از پایان این فصل هنرجو باید بتواند :

۱ــ مفهوم گرما را توضیح دهد.

۲ــ نظریه مولکولی گرما را شرح دهد.

۳ــ مفهوم دما را توضیح دهد.

۴ــ سه حالت ماده را با ذکر مثال بیان کند.

۵ــ تغییر حالت ماده را بیان کند.

۶ــ نمودار دما ــ گرما در مورد آب را توضیح دهد.

۷ــ مفاهیم بخار اشباع و مایع اشباع را تعریف کند.

۸ــ فشار ــ واحدهای سنجش و انواع فشار را توضیح دهد.

۱ــ کلیات و تعاریف

۱ــ۱ــ گرما

فلاسفه‌ی باستان بر این باور بودند که گرما شاره‌ای (سیالی) نامریی است که از جسم گرم به سوی جسم سرد جریان دارد و برای این شاره اصطلاح کالری[1] را به کار می‌بردند. آزمایش‌های بنجامین تامپسون (۱۸۱۴ــ۱۷۵۳) ثابت کرد که گرما در واقع انرژی حرکتی مولکول‌ها و اتم‌ها است. پژوهشگران بعدی از جمله ژول، فاراد و ماکسول آزمایش‌هایی انجام دادند که نتایج آن نظریه تامپسون را تأیید می‌کرد. مفهوم قدیمی گرما به عنوان شاره‌ای مرموز و عجیب منسوخ شد و ایده‌ی جدیدی از گرما به عنوان انرژی حرکت مولکولی پذیرفته شد. این مفهوم را اغلب فرضیه جنبشی ــ مولکولی می‌نامند.

۲ــ۱ــ مولکول‌ها و گرما

طبق نظریه مولکولی همه‌ی اجسام از میلیون‌ها ذرات ریز به نام مولکول تشکیل شده‌اند. واژه‌ی مولکول کوچکترین ذره‌ی ممکن یک جسم است که همه خواص آن را داراست. مولکول‌ها به نوبه خود از ذرات کوچکتری به نام اتم تشکیل شده‌اند.

در دماهای معمولی مولکول‌ها در حرکت دائمی‌اند و سرعت حرکت آن‌ها به انرژی گرمایی آن‌ها بستگی دارد.

طبق نظریه مولکولی ۱ــ گرما صورتی از انرژی است و انرژی گرمایی کل یک جسم مجموع انرژی مولکول‌های آن جسم است.

۲ــ دمای یک جسم یا یک ماده نشانگر شدت گرما یا

۱ــ کلمه‌ی لاتین به معنای گرما

درجه‌ی گرماست و با دماسنج اندازه‌گیری می‌شود.

چون گرما نوعی انرژی است واحد اندازه‌گیری آن در سیستم SI ژول (J) است. کالری و بی‌تی‌یو واحدهای دیگر متداول گرما هستند.

۱کالری = ۴/۱۸۶ ژول

$kcal = ۳/۹۶ \approx ۴BTU$

$BTU = ۲۵۲cal$

$kcal = ۴۱۸۶J$

۳ــ۱ــ دما یا درجه حرارت

درجه‌ی گرمی هر جسم را دمای آن جسم می‌گویند. درجه‌ی گرمی یا دما را با گرما که شکلی از انرژی است نباید اشتباه کرد. درجه حرارت و گرما به نحوی به هم وابسته هستند اما فرق بین این دو در چیست؟ فرض کنید اتاقی که در آن نشسته‌اید به طور کامل بسته و ایزوله باشد کبریتی روشن کنید و سپس ترمومتر نصب شده در اتاق را به دقت تحت نظر بگیرید با وجود این که دمای شعله کبریت بالای $۱۰۰۰^{\circ}C$ می‌باشد نمی‌توانید مقدار گرمایی که هوای اتاق را گرم می‌کند اندازه بگیرید. سپس اجازه دهید یک شمس فولادی به وزن ۳۰۰۰ کیلوگرم و درجه حرارت $۲۰۰^{\circ}C$ داخل همان اتاق بیاوریم. در مدت زمان کمتری دیگر نیازی به ترمومتر جهت تشخیص گرمای اضافه شده به هوای اتاق از طریق شمش فولادی را ندارید و به صورت محسوس درجه حرارت اتاق بالا می‌رود.

گرچه دمای تولید شده به وسیله شعله کبریت خیلی بیشتر از شمس فولادی می‌باشد. شمش فولادی گرمای خیلی بیشتری دارد و دمای اتاق را بالا می‌برد.

شکل ۱ــ۱ــ شعله کبریت درجه حرارت بیشتری را از بلوک فولادی دارد با وجود این بلوک فولادی گرمای بیشتری را در وجود خود دارد و هوای اتاق را بیشتر گرم خواهد کرد.

۱ــ۳ــ۱ــ اندازه‌گیری دما: وسیله‌ی اندازه‌گیری دما، دماسنج است. بیشتر دماسنج‌ها، بر مبنای خاصیت انبساط و انقباض یک مایع بر اثر افزایش یا کاهش دما کار می‌کنند. در دماسنج‌ها معمولاً از الکل یا جیوه استفاده می‌شود. زیرا دمای انجماد آن‌ها کم و ضریب انبساطشان تقریباً ثابت است. دماسنج جیوه‌ای از دماسنج الکلی دقیق‌تر است، چون ضریب انبساط آن در سطح وسیعی از دما، از ضریب انبساط الکل ثابت‌تر است.

واحد سنجش دما در سیستم SI درجه سلسیوس یا سانتی‌گراد و در سیستم IP درجه فارنهایت است. برای تبدیل درجه از یک سیستم به سیستم دیگر می‌توان از جدول ۱ــ۱ یا فرمول‌های زیر استفاده نمود.

$F = ۱/۸C + ۳۲$

$C = \frac{F - ۳۲}{۱/۸}$

۴ــ۱ــ سه حالت ماده

در دماها و فشارهای معمولی مواد به سه حالت دیده می‌شوند. به صورت جامد مانند فلز، چوب ؛ به صورت مایع مانند آب، الکل و بنزین و به صورت گاز مانند اکسیژن ــ ازت، دی‌اکسید کربن.

ما از روی عادت فکر می‌کنیم که آب همیشه مایع است ولی می‌دانیم که در دمای زیر $۰^{\circ}C$ آب جامد (یخ) می‌شود یا در

دماهای بالاتر از ۱۰۰°C به گاز یا بخار تبدیل می‌شود. به همین ترتیب سرب معمولاً جامد است ولی در ۳۲۷°C مایع و در ۱۶۲۱°C بخار می‌شود. دی‌اکسید کربن معمولاً به صورت گاز است ولی در دمای ۶۰°C− مایع و در دمای ۷۹°C− جامد (یخ خشک) می‌شود.

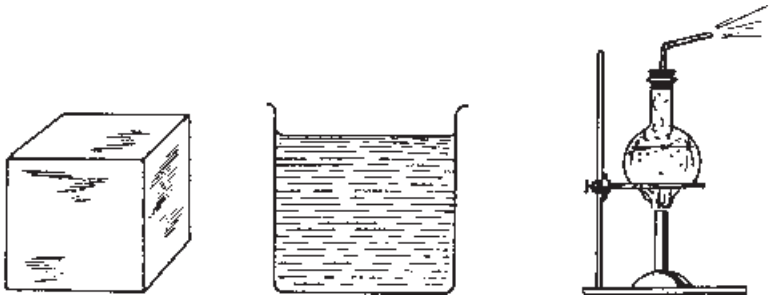
جدول ۱ــ۱ــ جدول تبدیل درجه حرارت سانتی‌گراد و فارنهایت

Temperature			Temperature			Temperature			Temperature		
Celsius	C or F	Fahr	Celsius	C or F	Fahr	Celsius	C or F	Fahr	Celsius	C or F	Fahr
−40.0	**−40**	−40.0	−6.7	**+20**	+68.0	+26.7	**+80**	+176.0	+60.0	**+140**	+284.0
−39.4	**−39**	−38.2	−6.1	**+21**	+69.8	+27.2	**+81**	+177.8	+60.6	**+141**	+285.8
−38.9	**−38**	−36.4	−5.5	**+22**	+71.6	+27.8	**+82**	+179.6	+61.1	**+142**	+287.6
−38.3	**−37**	−34.6	−5.0	**+23**	+73.4	+28.3	**+83**	+181.4	+61.7	**+143**	+289.4
−37.8	**−36**	−32.8	−4.4	**+24**	+75.2	+28.9	**+84**	+183.2	+62.2	**+144**	+291.2
−37.2	**−35**	−31.0	−3.9	**+25**	+77.0	+29.4	**+85**	+185.0	+62.8	**+145**	+293.0
−36.7	**−34**	−29.2	−3.3	**+26**	+78.8	+30.0	**+86**	+186.8	+63.3	**+146**	+294.8
−36.1	**−33**	−27.4	−2.8	**+27**	+80.6	+30.6	**+87**	+188.6	+63.9	**+147**	+296.6
−35.6	**−32**	−25.6	−2.2	**+28**	+82.4	+31.1	**+88**	+190.4	+64.4	**+148**	+298.4
−35.0	**−31**	−23.8	−1.7	**+29**	+84.2	+31.7	**+89**	+192.2	+65.0	**+149**	+300.2
−34.4	**−30**	−22.0	−1.1	**+30**	+86.0	+32.2	**+90**	+194.0	+65.6	**+150**	+302.0
−33.9	**−29**	−20.2	−0.6	**+31**	+87.8	+32.8	**+91**	+195.8	+66.1	**+151**	+303.8
−33.3	**−28**	−18.4	0	**+32**	+89.6	+33.3	**+92**	+197.6	+66.7	**+152**	+305.6
−32.8	**−27**	−16.6	+0.6	**+33**	+91.4	+33.9	**+93**	+199.4	+67.2	**+153**	+307.4
−32.2	**−26**	−14.8	+1.1	**+34**	+93.2	+34.4	**+94**	+201.2	+67.8	**+154**	+309.2
−31.7	**−25**	−13.0	+1.7	**+35**	+95.0	+35.0	**+95**	+203.0	+68.3	**+155**	+311.0
−31.1	**−24**	−11.2	+2.2	**+36**	+96.8	+35.6	**+96**	+204.8	+68.9	**+156**	+312.8
−30.6	**−23**	−9.4	+2.8	**+37**	+98.6	+36.1	**+97**	+206.6	+69.4	**+157**	+314.6
−30.0	**−22**	−7.6	+3.3	**+38**	+100.4	+36.7	**+98**	+208.4	+70.0	**+158**	+316.4
−29.4	**−21**	−5.8	+3.9	**+39**	+102.2	+37.2	**+99**	+210.2	+70.6	**+159**	+318.2
−28.9	**−20**	−4.0	+4.4	**+40**	+104.0	+37.8	**+100**	+212.0	+71.1	**+160**	+320.0
−28.3	**−19**	−2.2	+5.0	**+41**	+105.8	+38.3	**+101**	+213.8	+71.7	**+161**	+321.8
−27.8	**−18**	−0.4	+5.5	**+42**	+107.6	+38.9	**+102**	+315.6	+72.2	**+162**	+323.6
−27.2	**−17**	+1.4	+6.1	**+43**	+109.4	+39.4	**+103**	+217.4	+72.8	**+163**	+325.4
−26.7	**−16**	+3.2	+6.7	**+44**	+111.2	+40.0	**+104**	+219.2	+73.3	**+164**	+327.2
−26.1	**−15**	+5.0	+7.2	**+45**	+113.0	+40.6	**+105**	+221.0	+73.9	**+165**	+329.0
−25.6	**−14**	+6.8	+7.8	**+46**	+114.8	+41.1	**+106**	+222.8	+74.4	**+166**	+330.8
−25.0	**−13**	+8.6	+8.3	**+47**	+116.6	+41.7	**+107**	+224.6	+75.0	**+167**	+332.6
−24.4	**−12**	+10.4	+8.9	**+48**	+118.4	+42.2	**+108**	+226.4	+75.6	**+168**	+334.4
−23.9	**−11**	+12.2	+9.4	**+49**	+120.2	+42.8	**+109**	+228.2	+76.1	**+169**	+336.2
−23.3	**−10**	+14.0	+10.0	**+50**	+122.0	+43.3	**+110**	+230.0	+76.7	**+170**	+338.0
−22.8	**−9**	+15.8	+10.6	**+51**	+123.8	+43.9	**+111**	+231.8	+77.2	**+171**	+339.8
−22.2	**−8**	+17.6	+11.1	**+52**	+125.6	+44.4	**+112**	+233.6	+77.8	**+172**	+341.6
−21.7	**−7**	+19.4	+11.7	**+53**	+127.4	+45.0	**+113**	+235.4	+78.3	**+173**	+343.4
−21.1	**−6**	+21.2	+12.2	**+54**	+129.2	+45.6	**+114**	+237.2	+78.9	**+174**	+345.2
−20.6	**−5**	+23.0	+12.8	**+55**	+131.0	+46.1	**+115**	+239.0	+79.4	**+175**	+347.0
−20.0	**−4**	+24.8	+13.3	**+56**	+132.8	+46.7	**+116**	+240.8	+80.0	**+176**	+348.8
−19.4	**−3**	+26.6	+13.9	**+57**	+134.6	+47.2	**+117**	+242.6	+80.6	**+177**	+350.6
−18.9	**−2**	+28.4	+14.4	**+58**	+136.4	+47.8	**+118**	+244.4	+81.1	**+178**	+352.4
−18.3	**−1**	+30.2	+15.0	**+59**	+138.2	+48.3	**+119**	+246.2	+81.7	**+179**	+354.2
−17.8	**0**	+32.0	+15.6	**+60**	+140.0	+48.9	**+120**	+248.0	+82.2	**+180**	+356.0
−17.2	**+1**	+33.8	+16.1	**+61**	+141.8	+49.4	**+121**	+249.8	+82.8	**+181**	+357.8
−16.7	**+2**	+35.6	+16.7	**+62**	+143.6	+50.0	**+122**	+251.6	+83.3	**+182**	+359.6
−16.1	**+3**	+37.4	+17.2	**+63**	+145.4	+50.6	**+123**	+253.4	+83.9	**+183**	+361.4
−15.6	**+4**	+39.2	+17.8	**+64**	+147.2	+51.1	**+124**	+255.2	+84.4	**+184**	+363.2
−15.0	**+5**	+41.0	+18.3	**+65**	+149.0	+51.7	**+125**	+257.0	+85.0	**+185**	+365.0
−14.4	**+6**	+42.8	+18.9	**+66**	+150.8	+52.2	**+126**	+258.8	+85.6	**+186**	+366.8
−13.9	**+7**	+44.6	+19.4	**+67**	+152.6	+52.8	**+127**	+260.6	+86.1	**+187**	+368.6
−13.3	**+8**	+46.4	+20.0	**+68**	+154.4	+53.3	**+128**	+262.4	+86.7	**+188**	+370.4
−12.8	**+9**	+48.2	+20.6	**+69**	+156.2	+53.9	**+129**	+264.2	+87.2	**+189**	+372.2
−12.2	**+10**	+50.0	+21.1	**+70**	+158.0	+54.4	**+130**	+266.0	+87.8	**+190**	+374.0
−11.7	**+11**	+51.8	+21.7	**+71**	+159.8	+55.0	**+131**	+267.8	+88.3	**+191**	+375.8
−11.1	**+12**	+53.6	+22.2	**+72**	+161.6	+55.6	**+132**	+269.6	+88.9	**+192**	+377.6
−10.6	**+13**	+55.4	+22.8	**+73**	+163.4	+56.1	**+133**	+271.4	+89.4	**+193**	+379.4
−10.0	**+14**	+57.2	+23.3	**+74**	+165.2	+56.7	**+134**	+273.2	+90.0	**+194**	+381.2
−9.4	**+15**	+59.0	+23.9	**+75**	+167.0	+57.2	**+135**	+275.0	+90.6	**+195**	+383.0
−8.9	**+16**	+60.8	+24.4	**+76**	+168.8	+57.8	**+136**	+276.8	+91.1	**+196**	+384.8
−8.3	**+17**	+62.6	+25.0	**+77**	+170.6	+58.3	**+137**	+278.6	+91.7	**+197**	+386.6
−7.8	**+18**	+64.4	+25.6	**+78**	+172.4	+58.9	**+138**	+280.4	+92.2	**+198**	+388.4
−7.2	**+19**	+66.2	+26.1	**+79**	+174.2	+59.4	**+139**	+282.2	+92.8	**+199**	+390.2

The numbers in boldface in the center column refer to the temperature, either in Celsius or Fahrenheit which is to be converted to the other scale. If converting Fahrenheit to Celsius the equivalent temperature will be found in the left column. If converting Celsius to Fahrenheit, the equivalent temperature will be found in the column on the right.

۵ــ۱ــ فشار، دما و تغییر حالت

در شکل ۲ــ۱ سه حالت جامد، مایع و گاز مربوط به آب را ملاحظه می‌کنید.



یخ (جامد)
$0^{\circ}C$ و پایین‌تر

آب (مایع)
$0^{\circ}C$ تا $100^{\circ}C$

بخار آب داغ (بخار)
$100^{\circ}C$ و بالاتر

شکل ۲ــ۱ــ سه حالت ماده (آب)

آب در دمای اتاق و فشار جو به حالت مایع است در این حالت مولکول‌های آب به قدر کافی از هم دور هستند که بر روی هم می‌لغزند و شکل ظرف را به خود می‌گیرند ولی از هم جدا نمی‌شوند. در مورد مایعات قانون پاسکال دارای اهمیت است طبق این قانون فشار وارد بر یک نقطه از مایع عیناً به تمام نقاط آن وارد می‌شود.

اگر در فشار جو به آب گرما داده شود تا دما به $100^{\circ}C$ برسد آب می‌جوشد و بخار آب تشکیل می‌شود و تغییر حالت از مایع به گاز صورت می‌گیرد. بخار آب همان حالت گازی آب است. در حالت گازی مولکول‌ها از هم دورند و نیروی بین مولکولی خیلی کم است. مولکول‌ها می‌توانند آزادانه در هر جهتی حرکت نمایند و به همدیگر برخورد نمایند برعکس مایعات که تراکم‌پذیر نیستند گازها تراکم‌پذیر می‌باشند.

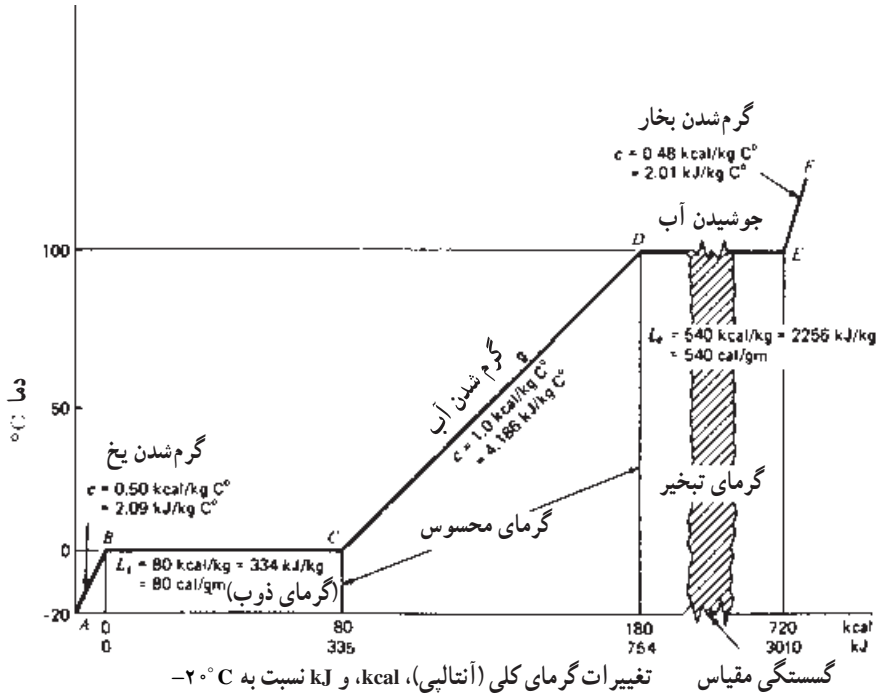
اگر آب را سرد کنیم تا دمای آن به $0^{\circ}C$ برسد تشکیل یخ آغاز می‌شود. در حالت یخ آب به صورت جامد است. جسم جامد حالتی از ماده است که بدون اتکا به چیزی شکل و وضعیت خود را حفظ می‌کند. مولکول‌ها در یک‌جا ثابت هستند و دائماً در حال ارتعاش می‌باشند. دامنه ارتعاش آن‌ها به میزان دما بستگی دارد هر چه دما کمتر باشد ارتعاش مولکول کمتر است و اگر دما بیشتر شود میزان ارتعاش بیشتر می‌شود، از آن جایی که آب ماده متداولی است و تغییر حالت آن در فشار جو و دماهای معمولی روزمره صورت می‌گیرد از آب به عنوان مثال برای بررسی تغییر حالت استفاده می‌کنیم.

۶ــ۱ــ نمودار دما ــ گرما (T-H) برای آب

یک کیلوگرم یخ با دمای $-20^{\circ}C$ در ظرفی که دماسنجی داخل آن است آماده می‌کنیم. ظرف را توسط شعله‌ای گرم می‌کنیم و تغییرات حاصل بر روی دمای آب در حالت‌های مختلف بر روی نموداری که محور افقی آن برحسب kJ (کیلو ژول) و محور عمودی آن برحسب درجه سلسیوس ($^{\circ}C$) مدرج شده است درج می‌نماییم. نموداری مطابق شکل ۳ــ۱ به دست می‌آید.

نقطه A نشان‌دهنده‌ی یک کیلوگرم یخ $-20^{\circ}C$ در ابتدای آزمایش است. با گرم شدن ظرف دمای یخ افزایش پیدا می‌کند تا در نقطه B دمای یخ به $0^{\circ}C$ می‌رسد خط مورب AB افزایش دمای یخ از $-20^{\circ}C$ تا $0^{\circ}C$ را نشان می‌دهد.

در نقطه B با دمای $0^{\circ}C$ یخ شروع به ذوب شدن می‌نماید. گرم‌کردن ظرف ادامه دارد ملاحظه می‌شود که درجه دماسنج روی $0^{\circ}C$ ثابت مانده و تغییری نمی‌کند ولی به تدریج به میزان آب اضافه می‌شود و از مقدار یخ کاسته می‌گردد. معلوم می‌شود که گرمای داده شده صرف تبدیل یخ به آب شده است. خط افقی دما



شکل ۳ــ۱ــ نمودار دما ــ گرما (T-H) برای ۱kg آب خالص در فشار جو

ثابت BC ذوب شدن یخ در دمای ۰°C را نشان می‌دهد. در نقطه C آخرین ذره یخ آب می‌شود. در فاصله نقطه B تا نقطه C ۳۳۴KJ گرما به یخ داده شده است.

پس از تمام‌شدن فرآیند ذوب یخ مشاهده می‌کنیم که دما افزایش پیدا می‌کند. هرچه بر میزان گرمای داده شده افزوده می‌شود، میزان دمای آن نیز افزایش می‌یابد. تا در نقطه D دما به ۱۰۰°C می‌رسد و آب به جوش می‌آید. خط مورب CD افزایش دمای آب از ۰°C تا ۱۰۰°C را نشان می‌دهد. در این مرحله ۴۵۷kJ گرما به آب داده شده است.

$$Q = mc(\Delta t) = ۱kg \times ۴/۱۸۶ \frac{kJ}{kg^{\circ}C} \times ۱۰۰^{\circ}C$$

$$= ۴۱۸/۶kJ = ۴۱۹kJ$$

از نقطه‌ی D که آب به جوش می‌آید باز هم ملاحظه می‌شود که با افزایش گرما دما ثابت می‌ماند این فرآیند تا نقطه‌ی E که آخرین ذره مایع به بخار تبدیل می‌شود ادامه دارد در این مرحله ۲۲۵۶kJ گرما به آب اضافه شده است.

خط EF نشان می‌دهد اگر بخار تولید در ظرف بسته باشد و عمل گرمادهی ادامه یابد دمای بخار بالاتر خواهد رفت.

با توجه به نمودار مذکور به تعاریف زیر می‌پردازیم.

۱ــ۶ــ۱ــ نقطه ذوب[1]: نقطه ذوب عبارت از دمایی است که هر جسم جامد در فشار معینی در آن دما به مایع تبدیل شود. نقطه ذوب آب (یخ) در فشار آتمسفر برابر ۰°C است. افزایش فشار وارد بر جسم به جز در چند مورد سبب بالارفتن نقطه ذوب آن می‌شود. در بعضی از جسم‌ها مانند یخ افزایش فشار سبب کاهش نقطه ذوب می‌شود.

۲ــ۶ــ۱ــ گرمای نهان ذوب: گرمای نهان ذوب یک جسم جامد برابر است با مقدار گرمایی که به یک کیلوگرم از آن جسم جامد در نقطه ذوب بدهیم تا به مایع در همان دما تبدیل شود. گرمای نهان ذوب برابر با گرمایی که در نمودار در فاصله نقطه B تا نقطه C به آب داده شد که برابر $\frac{kJ}{kg}$ ۳۳۵ می‌باشد.

۱ ــ Melting Point

۳ــ۶ــ۱ــ نقطه جوش[1]: دمایی را که در آن هر مایعی در فشار ثابت معینی به جوش می‌آید، نقطه جوش نامند. نقطه جوش آب در فشار آتمسفر برابر ۱۰۰°C است. نقطه جوش هر مایع به فشار وارد بر سطح آن بستگی دارد. افزایش فشار وارد بر مایع سبب بالا رفتن نقطه جوش می‌شود.

۴ــ۶ــ۱ــ گرمای محسوس[2]: به گرمایی که سبب بالارفتن دمای جسم شود گرمای محسوس گویند. در نمودار ۳ــ۱ گرمای داده شده به یخ از نقطه A تا B (۴۱/۸ kJ) و گرمای داده شده به آب از نقطه C تا D (۴۱۹kJ) را گرمای محسوس گویند زیرا موجب بالا رفتن دمای یخ از ۲۰°C− تا ۰°C و بالارفتن دمای آب از ۰°C تا ۱۰۰°C شده است.

۵ــ۶ــ۱ــ گرمای نهان[3]: گرمایی که در دمای ثابت به یک جسم داده می‌شود تا سبب تغییر حالت آن جسم شود گرمای نهان گفته می‌شود و به صورت گرمای نهان ذوب و گرمای نهان تبخیر وجود دارد. در نمودار ۳ــ۱ ۳۳۵kJ گرمایی که از نقطه B تا C به آب داده می‌شود گرمای نهان ذوب آب و ۲۲۵۶kJ گرمایی که از نقطه D تا E در حین جوش به آب داده شده است گرمای نهان تبخیر می‌باشد.

۶ــ۶ــ۱ــ انتالپی[4]: انتالپی مقدار گرمای موجود در یک ماده را نسبت به نقطه مبنا بیان می‌کند. انتالپی را اغلب به عنوان گرمای کلی ماده می‌شناسند که تعریف دقیقی نیست در مورد نمودار ۳ــ۱ نقطه مبنا نقطه با دمای ۰°C (نقطه B) می‌باشد.

انتالپی آب در نقطه B ۰ kJ/kg در نقطه C ۳۳۵ kJ/kg، در نقطه D ۳۳۵ + ۴۱۹ = ۷۵۴kJ/kg و در نقطه E ۷۵۴ + ۲۲۵۶ = ۳۰۱۰kJ/kg می‌باشد

گرمای لازم برای تبدیل یخ ۰°C به آب ۰°C ۳۳۵ kJ/kg

گرمای لازم برای تبدیل آب ۰°C به آب ۱۰۰°C ۴۱۹kJ/kg

گرمای لازم برای تبدیل آب ۱۰۰°C به بخار ۱۰۰°C

۲۲۵۶ kJ/kg

انتالپی بخار آب ۱۰۰°C ۳۰۱۰ kJ/kg

۷ــ۱ــ بخار اشباع و مایع اشباع

یک کیلوگرم آب در داخل سیلندر و پیستون نشان داده شده در شکل ۴ــ۱ را در نظر می‌گیریم. فرض می‌کنیم پیستون و وزنه‌ی روی آن فشار یک آتمسفر را در سیلندر برقرار نمایند و دمای اوّلیه آب ۲۰°C باشد. با انتقال گرما به آب دمای آن بالا می‌رود و حجم نیز کمی افزایش می‌یابد (فشار ثابت است). این حالت در شکل ۴ــ۱ــ الف نشان داده شده است.

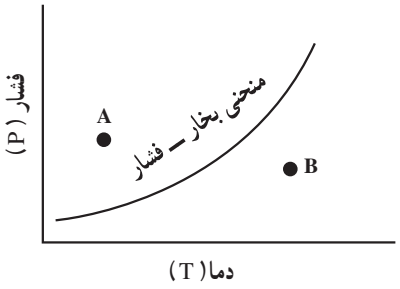
شکل ۴ــ۱ــ بخار اشباع و فشار اشباع

با ادامه گرمادهی وقتی دمای آب به ۱۰۰°C می‌رسد تغییری در حالت (فاز) مشاهده می‌شود که در شکل ۴ــ۱ــ ب نشان داده شده است یعنی مقداری از مایع به بخار تبدیل می‌شود. در طول این فرآیند دما ثابت باقی می‌ماند ولی حجم به مقدار قابل ملاحظه‌ای

۱ــ Boiling point ۲ــ Sensible Heat ۳ــ Latent Heat ۴ــ Enthalpy

افزایش می‌یابد.

در یک فشار معین عبارت «دمای اشباع» یا «دمای سیر شده» نشان دهنده‌ی دمایی است که عمل جوش اتفاق می‌افتد. فشار مربوط به دمای اشباع را فشار اشباع می‌نامند. بنابراین برای آب دمای جوش $100^{\circ}C$ دمای اشباع در فشار یک آتمسفر است و فشار یک آتمسفر فشار اشباع در دمای $100^{\circ}C$ می‌باشد. برای هر ماده‌ی خالص رابطه معینی بین فشار اشباع و دمای اشباع وجود دارد. که نمونه‌ای از آن در منحنی «فشار ــ دما» در شکل ۵ــ۱ نشان داده شده است.



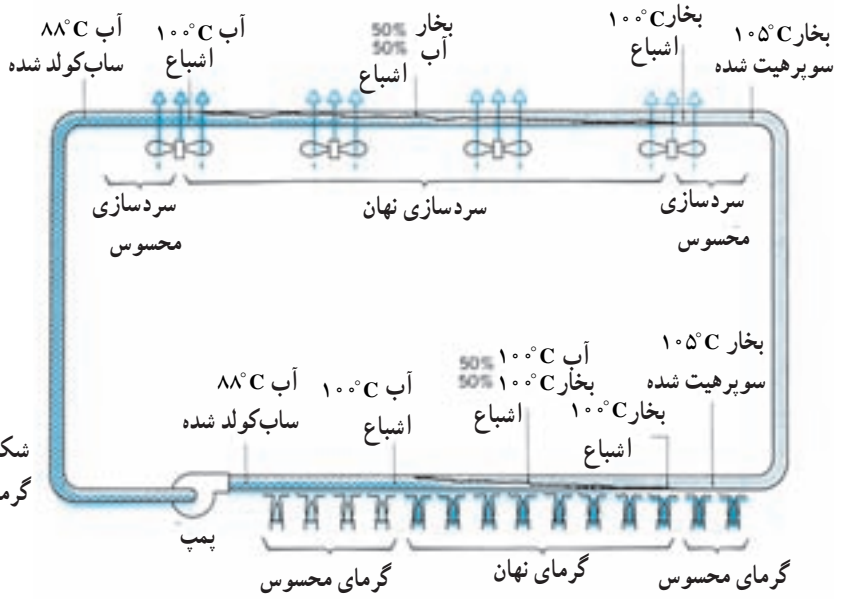
شکل ۵ــ۱ــ منحنی فشار ــ دما

چنانچه ماده‌ای به صورت مایع در دما و فشار اشباع وجود داشته باشد «**مایع اشباع**» نامیده می‌شود. اگر دمای مایعی کم‌تر از دمای اشباع در یک فشار معین باشد. مایع «**مادون سرد**» یا «**ساب کولد**» خوانده می‌شود (نقطه A).

هرگاه ماده به صورت بخار در فشار اشباع وجود داشته باشد به آن «**بخار اشباع**» گویند. و اگر بخار در دمایی بالاتر از دمای اشباع باشد، «**بخار فوق گرم**» یا «**بخار داغ**» یا «**بخار سوپرهیت**» نامیده می‌شوند (نقطه B).

مثال: شکل ۶ــ۱ مفاهیم دمای اشباع، ساب‌کول شدن و سوپرهیت‌شدن به یکدیگر گره می‌زند. سیستم بسته‌ای در نظر بگیرید که تمام قسمت‌های آن به طور تقریب در فشار آتمسفریک نگه داشته شده باشد. آب خروجی از پمپ دارای دمایی $88^{\circ}C$ است که در شرایط ساب‌کولد قرار دارد. با افزودن گرما دمای آب تا $100^{\circ}C$ بالا می‌رود (گرمای محسوس). اگر به گرمادادن ادامه دهیم دما در $100^{\circ}C$ (دمای اشباع) ثابت می‌ماند در حالی که آب به بخار تبدیل می‌شود. گرمای داده شده به آب در این مرحله از نوع گرمای نهان است. وقتی تمام آب به جوش آمده و تبدیل به بخار شود افزایش گرما باعث افزایش دمای بخار تا $105^{\circ}C$ می‌شود (گرمای محسوس) و بخار سوپرهیت حاصل می‌شود.

و اگر در قسمت بعدی با استفاده از فن‌های سردکننده اقدام به گرفتن گرما از سیستم نماییم، ابتدا بخار سوپرهیت گرمای خود را از دست می‌دهد (گرمای محسوس) و به دمای اشباع $100^{\circ}C$ می‌رسد. با ادامه عمل گرماگیری بخار اشباع تبدیل به مایع اشباع می‌شود (گرمای نهان) و در نهایت مایع ساب‌کولد با دمای $88^{\circ}C$ به‌دست می‌آید که وارد پمپ می‌گردد.



شکل ۶ــ۱ــ سیال (آب) با گرفتن و پس‌دادن گرما می‌تواند بجوشد یا تقطیر شود.

۸ــ۱ــ فشار

فشار عبارت است از مقدار نیروی وارد بر واحد سطح $P = \frac{F}{A}$. در این رابطه اگر نیرو (F) برحسب نیوتن و سطح (A) برحسب متر مربع باشد فشار (P) بر حسب N/m^2 یا پاسکال (pa) خواهد شد. در رابطه فوق هر چه نیرو بزرگ‌تر شود و مساحت کوچکتر گردد فشار حاصل بیش‌تر و بیش‌تر خواهد بود. فروکردن پونز بر سطح یک چوب به راحتی انجام می‌شود زیرا مساحت نوک پونز بسیار کم و فشار حاصل بسیار زیاد است.

۱ــ۸ــ۱ــ فشارنسبی: فشار نسبی یا فشار مانومتری[1] فشاری است که فشارسنج نشان می‌دهد. فشارسنج‌ها فقط اختلاف فشار میان فشار واقعی سیال و فشار جو را اندازه می‌گیرند و طوری درجه‌بندی شده‌اند که در فشار جو، صفر را نشان می‌دهند بدین لحاظ خواندن فشار راحت‌تر می‌شود.

۲ــ۸ــ۱ــ فشار آتمسفر: اطراف کره‌ی زمین را پوششی از هوا دربرگرفته است که از سطح زمین تا ارتفاعی حدود ۵۰ مایل (۹۳کیلومتر) یا بیش‌تر ادامه دارد. چون هوا دارای جرم بوده و در معرض جاذبه است، فشاری اعمال می‌کند که فشار جو یا فشار آتمسفر نام دارد. ستونی از هوا را به سطح یک متر مربع در نظر بگیرید که از سطح زمین، همتراز سطح دریا تا حد بالای جو ادامه دارد. جرم این ستون هوا به اندازه‌ای است که نیروی جاذبه وارد بر آن در سطح دریا (سطح قاعده ستون) برابر ۱۰۱۳۲۵ N می‌شود. چون کل این نیرو بر سطح $1\,m^2$ وارد می‌شود فشار حاصل از جو در سطح دریا $101325\,N/m^2$ (نیوتن بر متر مربع) یا پاسکال (pa) است. این همان مقدار فشار جو در سطح دریا است که گاهی فشار یک آتمسفر نیز گفته می‌شود. دقت کنید که فشار یک آتمسفر تقریباً برابر فشار یک بار (bar) است. فشار جو ثابت نبوده با ارتفاع تغییر می‌کند و با افزایش ارتفاع فشار جو کاهش می‌یابد.

۳ــ۸ــ۱ــ فشار مطلق[2]: فشار کل یا واقعی یک سیال است. فشار مطلق مجموع فشار نسبی (مانومتری) و فشار جو می‌باشد.

فشار نسبی + فشار جو = فشار مطلق

$$Pa = Patm + Pg$$

در صورتی که فشار نسبی کم‌تر از فشار جو باشد آن را با علامت منفی نشان می‌دهند.

رابطه بین فشار نسبی و فشار مطلق در شکل ۷ــ۱ آمده

شکل ۷ــ۱ــ رابطه بین فشار نسبی و فشار مطلق

۱ ــ Gouge Pressure ۲ ــ Absolute Pressure

است. فشار نسبی را فشار مانومتری و فشار گیج نیز می‌گویند.

۴ــ۸ــ۱ــ واحدهای فشار: واحد فشار در سیستم SI، پاسکال (pa) یا نیوتن بر متر مربع (N/m^2) است. واحد دیگر فشار بار (bar) است یک بار معادل 10^5 pa است.

هم‌چنین فشار برحسب ستون جیوه (mmHg) و ستون آب (mH_2O) نیز سنجیده می‌شود. در سیستم انگلیسی معمولاً از واحد psi (پوند بر اینچ مربع) استفاده می‌کنند.

psig نشانه فشار مانومتری و psia نشانه فشار مطلق است.

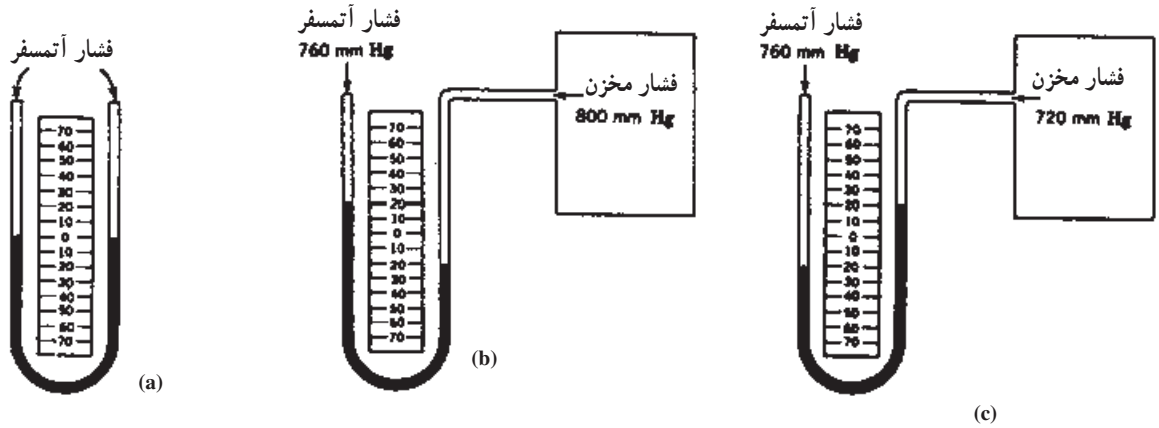
۵ــ۸ــ۱ــ تبدیل واحدهای فشار: با استفاده از جدول ۲ــ۱ می‌توان تمام واحدهای فشار در سیستم SI و انگلیسی را به هم‌دیگر تبدیل نمود.

جدول ۲ــ۱ــ تبدیل بین واحدهای فشار در سیستم SI و سیستم انگلیسی

	pascal	atm	bar	kg/cm^2	psi	mmHg	inHg	dyne/cm^2
pascal	1	9.8692×10^{-6}	10^{-5}	1.0192×10^{-5}	1.45038×10^{-4}	0.00750	2.953×10^{-4}	10
atm	101.325	1	1.01325	1.03323	14.6960	760.0	29.921	1013.250
bar	10^5	0.98692	1	1.01972	14.5038	750.062	29.530	10^6
kg/cm^2	98.066	0.96784	0.98066	1	14.223	735.559	28.959	980.665
psi	6894.8	0.068046	0.068948	0.07030696	1	51.715	2.0360	33.864
mmHg	133.32	0.00131579	0.0013332	0.0013595	0.0193368	1	0.03937	1333.2
inHg	3386.4	0.033421	0.033864	0.034532	0.491154	25.400	1	33.864
dyne/cm^2	0.100	9.8692×10^{-7}	10^{-6}	1.01972×10^{-6}	1.45038×10^{-5}	0.000750	2.953×10^{-5}	1

۶ــ۸ــ۱ــ فشارسنج‌ها: وسایلی هستند که برای اندازه‌گیری فشار سیال (گاز یا مایع) به کار برده می‌شوند. فشارسنج معمول در صنعت تبرید عبارتند از مانومتر و لوله بوردون.

مانومتر: در مانومتر از یک ستون مایع (آب یا جیوه) برای اندازه‌گیری فشار استفاده می‌شود. در شکل ۸ــ۱ مانومتر جیوه‌ای ساده‌ای نشان داده شده است که شامل یک لوله‌ی شیشه‌ای U شکل دو طرف باز که در قسمتی از آن جیوه قرار دارد وقتی‌که هر دو شاخه لوله‌ی U شکل در معرض جو باشد فشار جو در هر دو شاخه لوله اثر کرده و ارتفاع هر دو ستون جیوه یکی می‌شود. ارتفاع دو ستون جیوه در این وضعیت به عنوان صفر مقیاس علامت‌گذاری و ارتفاع بر حسب mm (میلی‌متر) درجه‌بندی می‌شود تا انحراف ستون‌های جیوه از نقطه‌ی صفر را در هر یک از دو جهت مشخص کند. هنگام استفاده، یک شاخه لوله U شکل را به مخزنی که فشارش باید اندازه‌گیری شود وصل می‌کنند. فشار جو به شاخه‌ی باز لوله اثر کرده و فشار مخزن به سمت دیگر لوله اثر می‌کند. بدین طریق اختلاف ارتفاع دو ستون جیوه نشان‌دهنده فشار داخل مخزن می‌باشد که این فشار می‌تواند کمتر یا بیشتر از فشار جو باشد. چنانچه ذکر شد فشارسنج فقط اختلاف فشار بین مخزن و اتمسفر را نشان می‌دهد.



a) فشار وارد (فشار آتمسفر) به دو سمت لوله برابر وسطح جیوه نیز در لوله برابر است.
b) نشان می‌دهد که فشار مخزن ۴۰ میلی‌متر جیوه از فشار اتمسفر بیشتر است.
c) نشان می‌دهد که فشار مخزن ۴۰ میلی‌متر جیوه از فشار اتمسفر (۷۶۰mm Hg) کمتر است.

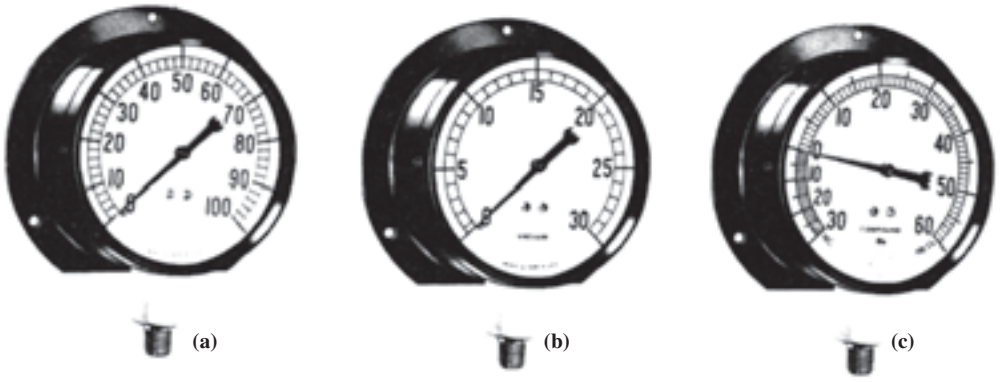
شکل ۸ــ۱

مانومترهایی که در آن‌ها از آب به عنوان سیال اندازه‌گیر استفاده می‌شود برای اندازه‌گیری فشارهای بسیار کم مناسبند. به علت اختلاف چگالی جیوه و آب، فشارهای بسیار کم که نمی‌توانند آشکارا در ارتفاع ستون جیوه تأثیر بگذارند، به راحتی در ارتفاع ستون آب، تغییر قابل ملاحظه‌ای پدید می‌آورند.

فشارسنج‌های لوله‌ی بوردونی: به علت نیاز به لوله‌های بسیار بلند برای اندازه‌گیری فشارهای بیش از یک آتمسفر، معمولاً از مانومتر استفاده نمی‌شود لذا برای اندازه‌گیری فشارهای بالاتر که در صنعت تبرید با آن مواجه هستیم از فشارسنج لوله‌ی بوردونی مطابق شکل ۹ــ۱ استفاده می‌کنیم. لوله‌ی بوردون لوله‌ای فلزی خمیده‌ی بیضی شکل است که میزان خمیدگی آن بر اثر افزایش فشار سیال داخل لوله کمتر و بر اثر کاهش فشار بیشتر می‌شود. هر تغییری در خمیدگی لوله از طریق دنده‌ها به عقربه منتقل می‌شود. جهت و مقدار حرکت عقربه به جهت و اندازه‌ی تغییر خمیدگی لوله بستگی دارد.

شکل ۹ــ۱ــ مکانیزم گیج بوردون

طراحی متفاوت این فشارسنج‌ها در شکل ۱۰ــ۱ نشان داده شده است. (a) برای اندازه‌گیری فشارهای بالاتر از جو بوده و به نام فشارسنج معروف هستند. (b) برای اندازه‌گیری فشارهای کمتر از جو بوده و خلأسنج نام دارند. (c) برای اندازه‌گیری فشارهای بالاتر و پایین‌تر از جو طراحی شده‌اند و به نام فشارسنج مرکب یا گیج مرکب نام گرفته‌اند.



شکل ۱۰ــ۱ــ انواع گیج‌های بوردون

پرسش و تمرین

۱ــ مفهوم گرما را توضیح دهید.

۲ــ نظریه مولکولی گرما را شرح دهید.

۳ــ واحدهای سنجش گرما را معرفی کنید.

۴ــ مفهوم دما و تفاوت آن را با گرما توضیح دهید.

۵ــ فرمول تبدیل درجه‌ی فارنهایت به سانتی‌گراد و برعکس را بنویسید.

۶ــ با استفاده از فرمول و مقایسه آن با جدول معادل دمای $-۳۲^{\circ}F$ ، $+۳۲^{\circ}F$ ، $-۴۰^{\circ}C$ ، $-۴۰^{\circ}F$ ، $۰^{\circ}F$ ، $۰^{\circ}C$ ، $۱۰۰^{\circ}C$ ، $۱۰۰^{\circ}F$ ، $۱۶۰^{\circ}C$ ، $۲۲۰^{\circ}F$ ، $۳۰^{\circ}C$ ، $۵^{\circ}C$ ، $۲۰۰^{\circ}F$ را پیدا کنید.

۷ــ حالت‌های مختلف ماده را با ذکر مثال بیان کنید.

۸ــ نمودار دما ــ گرما را برای آب ترسیم کنید.

۱ــ۸ــ نقطه‌ی ذوب و گرمای نهان ذوب را تعریف کنید.

۲ــ۸ــ گرمای محسوس را تعریف کنید.

۳ــ۸ــ گرمای نهان را تعریف کنید.

۴ــ۸ــ نقطه جوش را تعریف کنید.

۵ــ۸ــ انتالپی را تعریف کنید.

۹ــ دمای اشباع و فشار اشباع را تعریف کنید.

۱۰ــ رابطه دمای اشباع و فشار اشباع را بیان کنید.

۱۱ــ مایع اشباع و بخار اشباع را تعریف کنید.

۱۲ــ مایع ساب‌کولد را تعریف کنید.

۱۳ــ بخار سوپرهیت شده را تعریف کنید.

۱۴ــ منطقه مایع سابکولد و بخار سوپرهیت را بر روی منحنی فشار ــ دما معین کنید.

۱۵ــ مفاهیم مایع سابکولد ــ مایع اشباع ــ بخار اشباع و بخار سوپر هیت از روی شکل ۷ــ۱ توضیح دهید.

۱۶ــ در تغییرات زیر کدام از فرآیندهای گرم‌کردن محسوس، گرم‌کردن نهان، سردکردن محسوس و سردکردن نهان انجام یافته است.

الف ــ تغییر آب $50^{\circ}C$ به آب $55^{\circ}C$

ب ــ تغییر بخار $150^{\circ}C$ به بخار $120^{\circ}C$

پ ــ تغییر آب $0^{\circ}C$ به یخ $0^{\circ}C$

ت ــ تغییر آب $93^{\circ}C$ به بخار $100^{\circ}C$

۱۷ــ فشار را توضیح دهید.

۱۸ــ فشار نسبی را تعریف کنید.

۱۹ــ فشار آتمسفر را تعریف کنید.

۲۰ــ فشار مطلق را تعریف کنید.

۲۱ــ تفاوت فشار نسبی و فشار مطلق را توضیح دهید.

۲۲ــ انواع فشارسنج‌های مورد استفاده در صنعت تبرید را نام ببرید.

۲۳ــ فرق مانومتر با لوله بوردون چیست؟

۲۴ــ فرق فشارسنج و خلأسنج و گیج مرکب را توضیح دهید.

۲۵ــ فشار نشان داده شده در یک فشارسنج برای فشار استاندارد چه اندازه است؟

۲۶ــ در یک خلأسنج عدد خوانده شده برای یک وکیوم خوب چقدر است؟