

$$m_1 - m_2 = 1/38 - 0/54 = 0/84 \text{ kgm}$$

(c) حجمی که این اکسیژن در شرایط مذکور اشغال میکند برابر است با :

$$V = \frac{nRT}{P} = \frac{16/7 \times 0/082 \times 293}{1} = 40.3 \text{ liters}$$

**مثال ۲-** در شکل ۱۸-۲ فشارسنج مک لئود The McLeod gauge نشان داده

شده است که برای سنجش فشارهای حدود  $10^{-6}$  تا  $5 \times 10^{-6}$  میلی متر جیوه بکار میرود. در قسمت a تمام حجم واقع در بالای نقطه A از گاز با فشار کم p که باید اندازه گرفته شود، پر است در قسمت (b) ظرف جیوه ای B را بالا میبرند؛ رابطه گاز واقع در حباب C با خارج قطع میشود حجم این حباب در حدود  $500 \text{ cm}^3$  است. گاز موجود در آن، متراکم نموده به حجم  $V_1$  میرسد که چون لوله D مدرج است میتوان اندازه آنرا بدست آورد. هر گاه دما ثابت فرض شود، فشار گاز متراکم شده بنا بر قانون بویل چنین بدست میآید :

$$p' = \frac{pV}{V'}$$

فشار گاز در بالای جیوه در قسمت E بهمان اندازه p باقی میماند. هر گاه h اختلاف سطح جیوه در قسمت E و D باشد داریم:

$$p' = p + \rho gh$$

که در آن p توده ویژه جیوه است. هر گاه  $p'$  را بین این دو رابطه حذف کنیم خواهیم داشت

$$p = \frac{\rho g V'}{V \cdot V'} h \approx \frac{V'}{V} \rho gh$$

این تساوی با تقریب کافی صحیح است زیرا  $V' \ll V$  است (یعنی  $V'$  خیلی کوچکتر از V است)

مثلاً هر گاه  $p = 4 \times 10^{-4}$  میلی متر جیوه  $V' = 10^{-4} V$  و  $h = 4 \text{ mm}$  باشد؛ چون  $\rho$  و  $g$  و  $V$  و  $V'$  مقادیر ثابت اند فشار p مستقیماً متناسب با h است و درجه بندی خطی برای سنجش فشار p میتواند مورد استفاده قرار گیرد. هر گاه قطر لوله های D و E مساوی باشند اثر موئینگی (capillary depression) تصحیح خواهد شد.

**مثال ۳-** در قسمت بالای جو (ستراتوسفر) دما تقریباً نسبت به ارتفاع تغییر نمی کند.

فرمولی برای تغییر فشار بر حسب ارتفاع بدست آورید. فرمول تغییر دما بر حسب ارتفاع

در یک سیال عبارتست از  $dp/dy = -\rho g$

در فرمول  $n$  را مساوی  $\frac{m}{M}$  قرار میدهم که در آن  $m$  جرم مقدار معینی از گاز

$M$  جرم ملکولی گاز و  $n$  تعداد ملکولگرم است. داریم

$$p \cdot V = \frac{m}{M} RT$$

$p$  توده ویژه گاز کامل برابر است با

$$p = \frac{m}{V} = \frac{pM}{RT}$$

از آنجا خواهیم داشت :

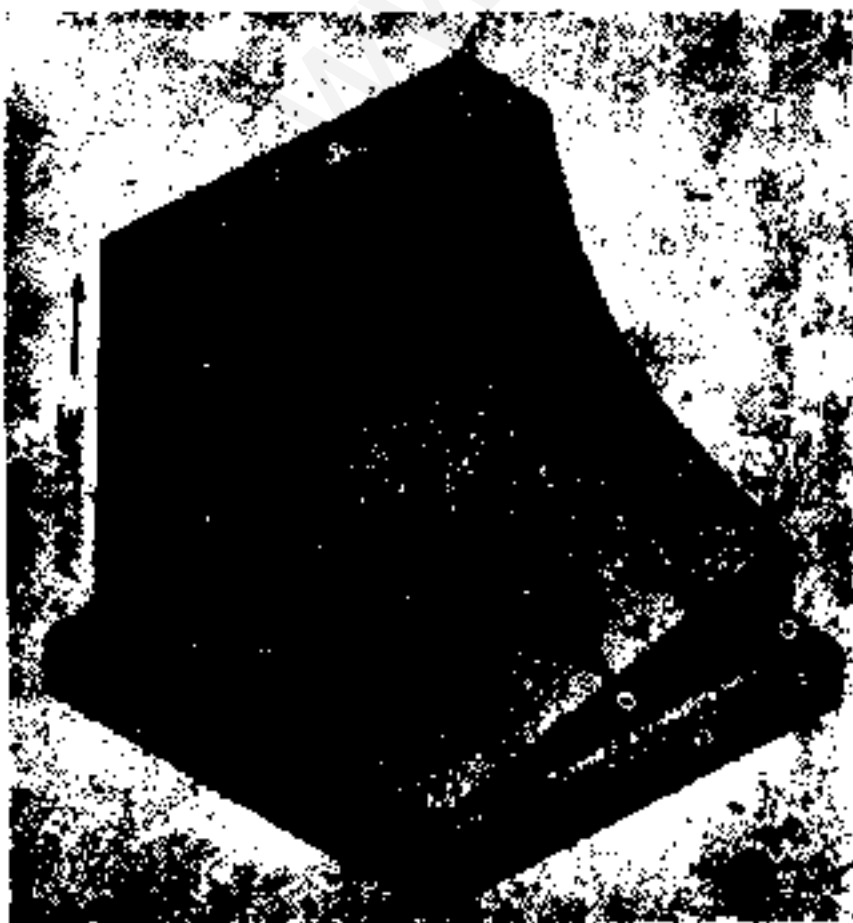
$$\frac{dp}{dy} = -\frac{pMg}{RT} \quad \text{و} \quad \frac{dp}{p} = -\frac{Mg}{RT} dy$$

هر گاه  $g$  و  $T$  ثابت و  $p_1$  و  $p_2$  فشار در ارتفاعات  $y_1$  و  $y_2$  فرض شوند از انتگراسیون فرمول بالا چنین نتیجه میشود :

$$\ln \frac{p_2}{p_1} = -\frac{Mg}{RT} (y_2 - y_1) \quad (5-18)$$

این فرمول را فرمول بارومتری مینامند.

### ۱۸-۳ سطح $pVT$ برای یک گاز کامل .

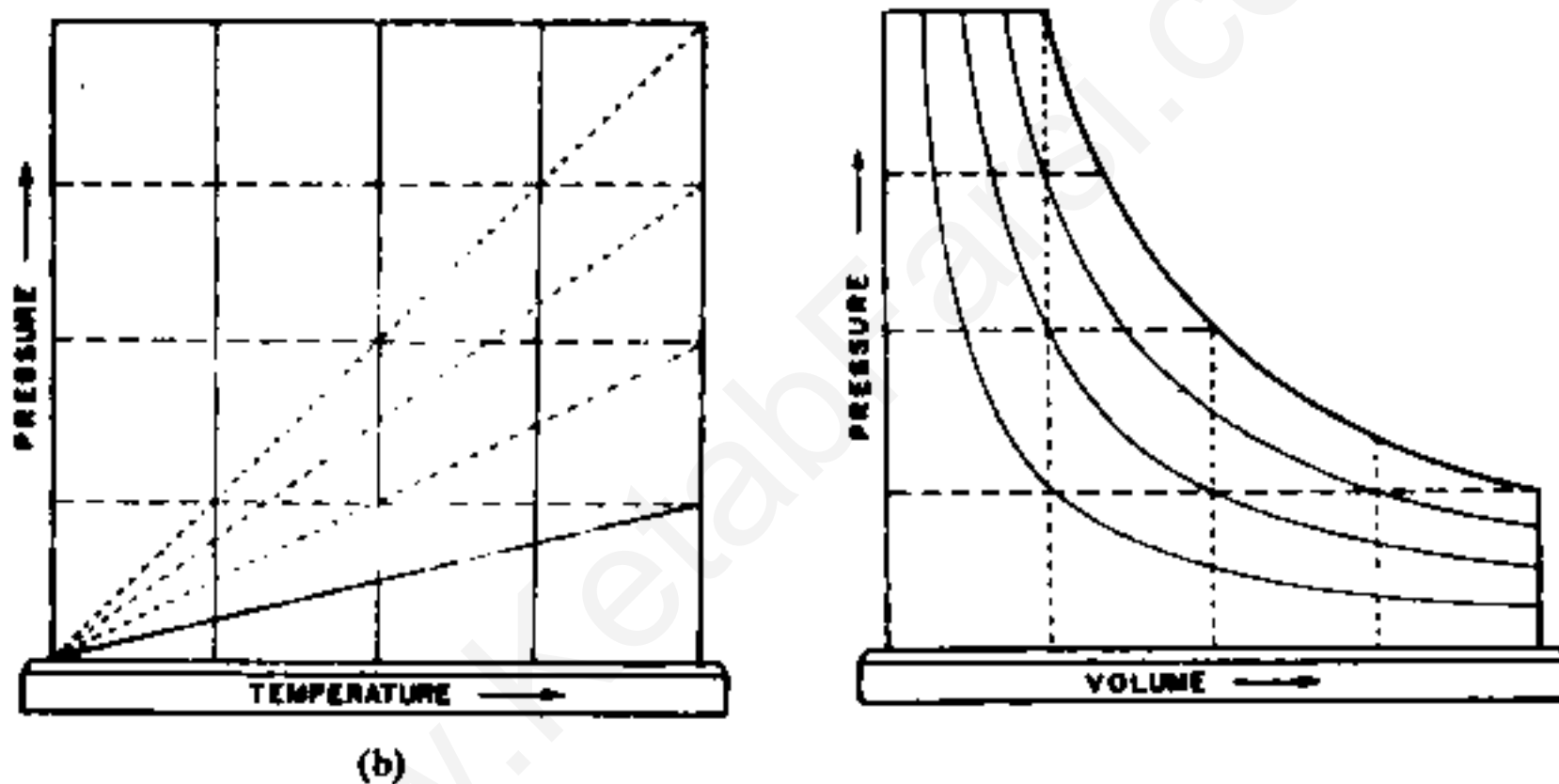


شکل ۱۸-۳ سطح  $pVT$  یک گاز کامل

معادله مشخصه یک جسم ،  
 رابطه‌ای بین  $V$  و  $p$  و  $T$  است .  
 هر گاه سه محور متعامد  $p$  و  $V$  و  $T$   
 انتخاب کنیم ، معادله مشخصه جسم  
 میتواند نمایش سطحی در این مختصات  
 باشد شکل ۱۸-۳ سطح  $pVT$   
 برای یک گاز کامل است . خط  
 پر رابطه بین  $p$  و  $V$  ( وقتی  $T$   
 ثابت است) را نشان میدهد (قانون  
 بویل) خط چین‌ها نمایش تغییرات  
 $V$  و  $T$  وقتی  $p$  ثابت است (قانون

گیلوساك) و خطوط نقطه چین رابطه بین  $p$  و  $T$  را وقتی  $V$  ثابت است نشان میدهد هر گاه در امتداد عمود بر سطح  $pV$  نگاه کنیم منحنی تغییرات فشار نسبت به حجم بدست میآید [شکل ۱۸-۴ (a)].

هر وضع تعادل گاز، با نقطه ای واقع بر سطح  $pVT$  مشخص میشود. گاز نمیتواند در وضع تعادلی قرار گیرد که نقطه نمایش وضع آن، بر این سطح واقع نباشد. مثلاً هر گاه حجم و فشار معلوم باشد این دو مقدار، نقطه ای را در صفحه  $PT$  شکل ۱۸-۳ مشخص میکند. فاصله قائم این نقطه از سطح  $pVT$  فشار گاز را در این دما و حجم مشخص میکند این فشار، تابع مقدار گاز و طبیعت آن است.



شکل ۱۸-۴ تصویر سطح  $pVT$  بر (a) صفحه  $PV$  (b) صفحه  $PT$

در هر تحولی که گاز در آن، از تعدادی وضع تعادل عبور میکند! نقطه نمایش گاز بر روی يك منحنی واقع بر سطح  $pVT$  حرکت میکند. چنین تحولی حتماً باید بکنند صورت گیرد زیرا برای اینکه فشار و دما در تمام نقاط گاز یکسان شود، گذشت زمان لازم است.

### ۱۸-۴، سطح $pVT$ اجسام واقعی

با وجود اینکه معادله مشخصه گاز کامل، در مورد اکثر اجسام حقیقی که در فشار بسیار کمی قرار دارند صادق است؛ معذالک هر چه فشار زیاد و دمای آنها کم شود، انحراف آنها از قانون مذکور تدریجاً شروع شده زیاد میشود. وقتی فشار گازی را زیاد و دمای آنرا کم کنیم، گاز بایع یا جامد تبدیل میشود. اما در هر حال، برای جسم معینی بمقدار مشخص،

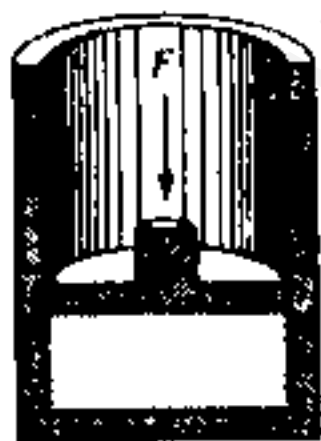
باز هم بین دما و فشار و حجم رابطه‌ای وجود دارد. یعنی بین  $p$  و  $V$  و  $T$  هر جسم در جمیع حالات (گاز مایع - جامد) رابطه‌ای وجود دارد که گرچه بیان آن بصورت فرمول ریاضی کاری است دشوار و گاه محال، معذالک میتوان آنرا بصورت ترسیمی بایک سطح  $pVT$  نشان داد. شکل ۶-۱۸ سطح  $pVT$  را برای اجسامی که در حین ذوب شدن انقباض مییابند (اکثر اجسام چنین هستند) و شکل ۷-۱۸ سطح  $pVT$  اجسامی نظیر آب را که در موقع ذوب شدن، انقباض مییابند نشان میدهند. چنانکه از شکل پیداست؛ ممکن است جسمی بصورت جامد، مایع یا بخار و یا در آن واحد بصورت جامد، مایع و حتی در طول خط سه گانه *triple line* بهره‌رسانه حالت فیزیکی وجود داشته باشد. (فعلاً مفهوم گاز و بخار را یکی فرض کنید. بعداً درباره اختلاف مفهوم گاز و بخار بحث خواهیم داشت.)

برای اینکه سطح  $pVT$  معرف خواص یک جسم بخصوص بوده به اندازه گازارتباط نداشته باشد بجای اینکه هر جسم دلخواه  $V$  از جسم را روی محور حجم‌ها جدا کنیم حجم مخصوص  $v$  یعنی حجم یک واحد جرم از جسم را جدا میکنیم خواهیم داشت:

$$v = \frac{V}{m}$$

که در آن  $m$  جرم جسم و  $V$  حجم آنست. حجم مخصوص یا حجم واحد جرم جسم، عکس  $\rho$  توده ویژه آنست پس خواهیم داشت:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{1}{v}$$



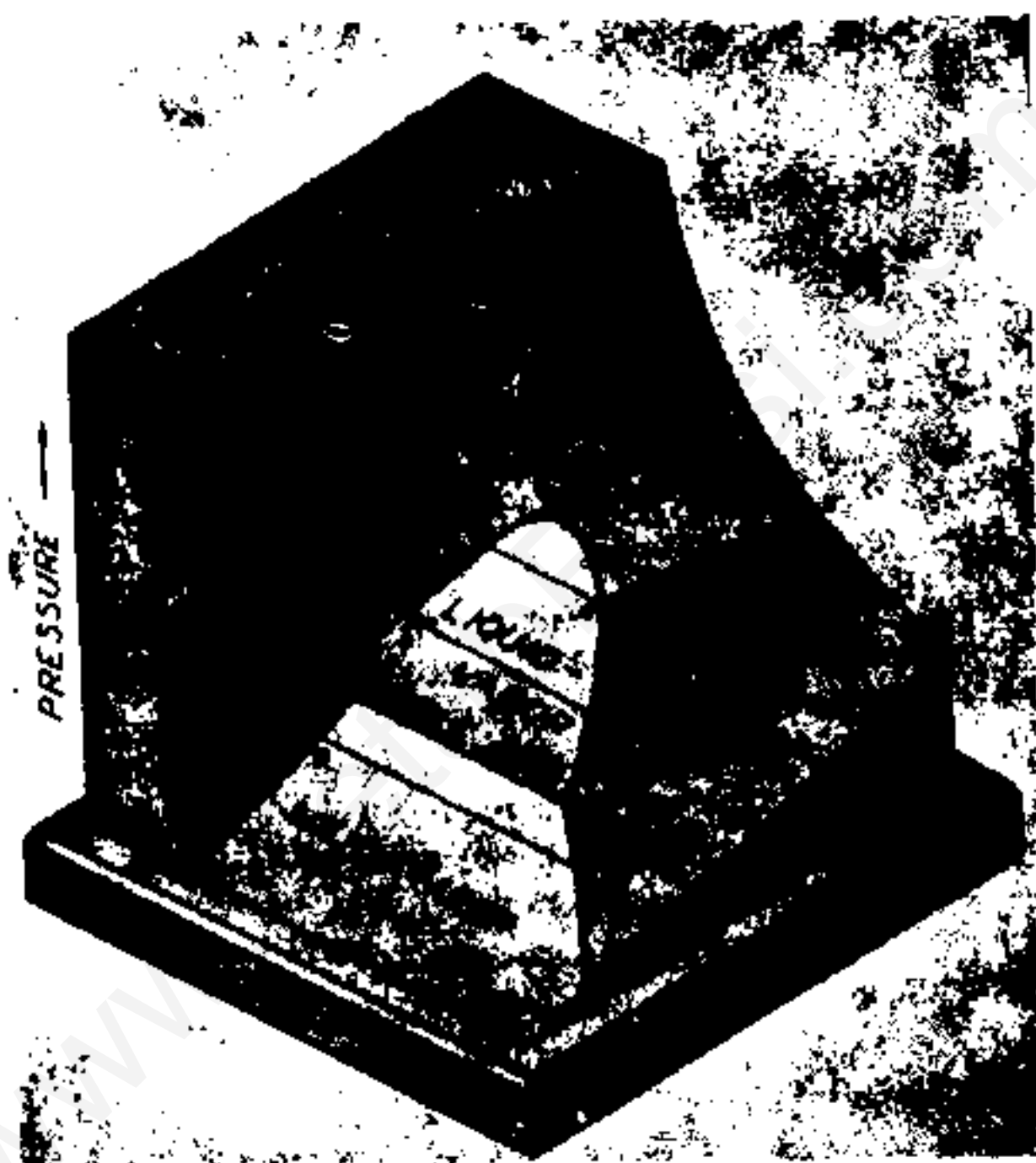
شکل ۵-۱۸

برای اینکه دیاگرام‌های  $pVT$  را بطریقی با نتایج تجربی که از تحولات و تغییر حالت اجسام داریم تطبیق دهیم، فرض کنیم جسمی در نقطه  $c$  از شکل‌های ۶-۱۸ یا ۸-۱۸ یعنی در حالت جامد درون سیلندری که در شکل ۵-۱۸ نشان داده شده است قرار داشته باشد. هر گاه نیروی  $F$  را طوری بر پیستن اثر دهیم که فشار جسم، هنگام انقباض یا انقباض آن در اثر تغییر دما ثابت بماند تحول را ایزوبار (با فشار ثابت) مینامیم. اکنون

جسم را در مجاورت یک گرم کننده الکتریکی قرار میدهیم که میتوان دمای آنرا بکندی تغییر داده ترتیبی برقرار ساخت که همیشه دمای آن، کمی بالاتر از دمای جسم باشد. بنابراین جریان گرمایی بجسم وارد میشود.

در ابتدای تحول، با دریافت گرما، دمای جسم بالا رفته و ازدیاد دمای آن، تابع

اندازه گرمای ویژه است. همچنین حجم آن، بر حسب اینکه ضریب انبساط چه اندازه باشد، تغییر میکند. همینکه جسم به نقطه  $b$  (در هر دو شکل) شروع به ذوب شدن میکند. یعنی تغییر حالت، از مایع به جامد شروع میشود. با وجود اینکه جسم، گرما دریافت میکند، دمای آن ثابت میماند. حجم جسم یا افزایش یافته [ شکل ۶-۱۸ ] و یا کاهش مییابد. [ شکل ۷-۱۸ ]



شکل ۶-۱۸ سطح PVT جسمی که در حین ذوب انبساط مییابد

در نقطه  $b$  همه جسم، به مایع تبدیل شده است. اکنون دمای جسم، مجدداً شروع به افزایش نموده سرعت افزایش آن نیز تابع اندازه گرمای ویژه جسم در حالت مایع است. حجم جسم نیز بر حسب اینکه ضریب انبساط آن در حالت مایع چه اندازه باشد، کم و بیش، افزایش مییابد. (آب در فشار جو، ابتدا کمی کاهش حجم یافته سپس شروع به انبساط میکند). در نقطه  $d$  مجدداً افزایش دما متوقف شده گرمائی که وارد جسم میشود باعث پیدایش حبابهای بخار در داخل مایع و سپس بالا رفتن آن میگردد. چون توده ویژه جسم در حالت بخار، به مراتب بیش از توده ویژه آن در حالت مایع است، حجم جسم افزایش قابل ملاحظه‌ای پیدا میکند.

در نقطه  $\theta$  تمام جسم بخار شده است، (افزایش نسبی حجم هنگام تبخیر، مگر در فشار های بسیار زیاد، به مراتب از تغییر حجم هنگام ذوب، بیشتر است به همین جهت نمی توان دیاگرام ها را با مقیاس متشابه رسم نمود و در دو شکل ۶-۱۸ و ۷-۱۸ نیز مقیاس متشابه نیست.



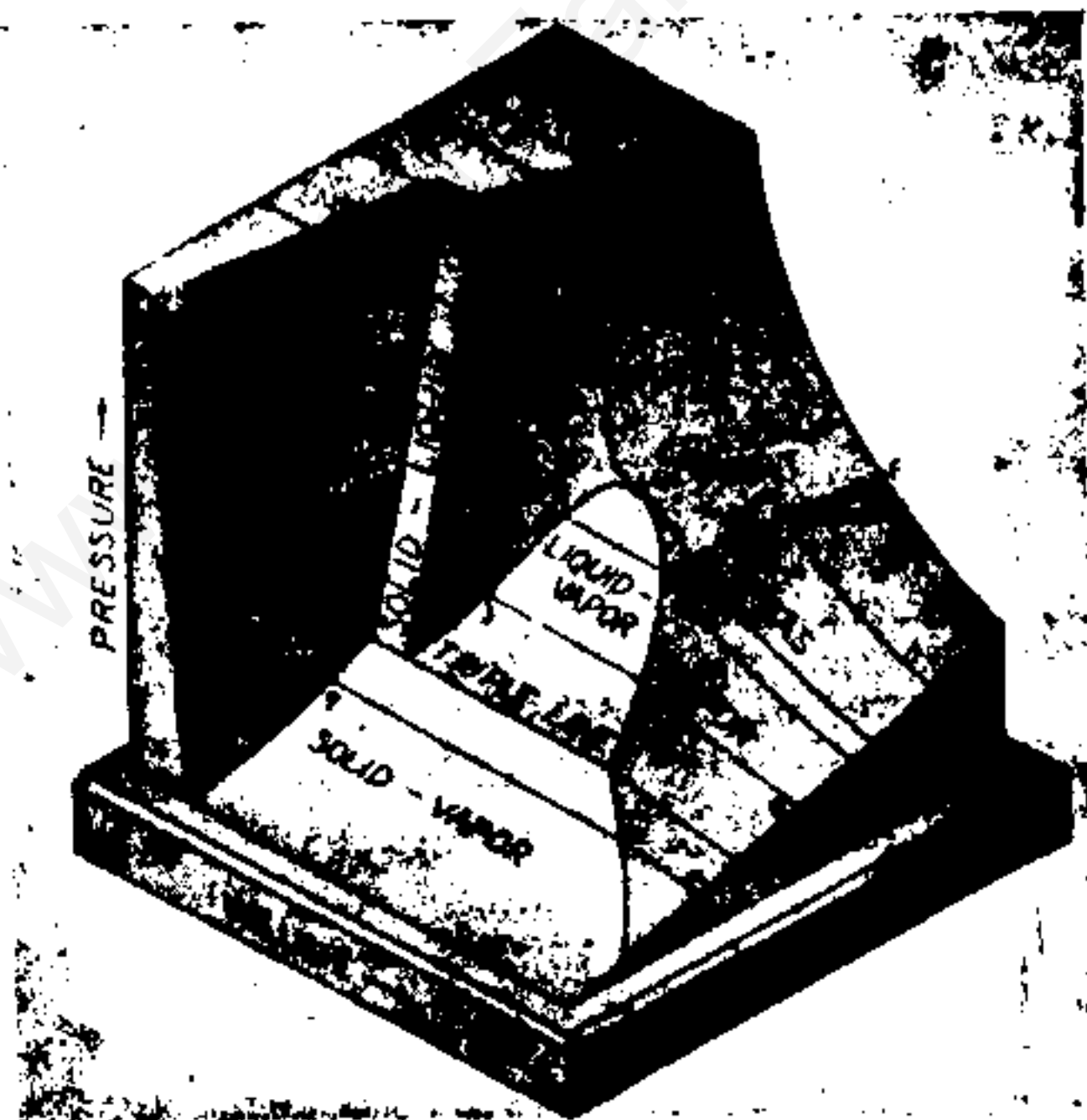
شکل ۶-۱۸ - سطح  $pVT$  - جسمی که در حین ذوب انقباض مییابد

دما مجدداً شروع با افزایش میکند و سرعت از دیاد آن تابع اندازه گرمای ویژه بخار با فشار ثابت است. حجم نیز بمقیاس بسیار زیادی افزایش مییابد. حال اگر جسم را در مجاورت سرد کننده ای قرار دهیم که دمای آن همیشه کمی پائین تر از دمای جسم باشد، جسم سرد شده تحولات در جهت عکس صورت میگیرند همچنین برای بیان تفسیر دیگری از سطح  $pVT$  میتوان گازی را درون سیلندری فرض کرد که بر نقطه  $g$  از شکل های ۶-۱۸ و ۷-۱۸ تطبیق کند. فرض کنیم فشار خارجی طوری میزان شود که همیشه کمی بیشتر از فشار جسم، و جسم با محیطی مجاور باشد که دمای آن ثابت است. تحول را در این حالت، ایزوترم مینامند.

همینکه فشار خارجی بر جسم اثر کند، دمای آن را کمی بالا میبرد. جریان گرمایی از جسم به محیط بوجود آمده، در طول خط  $gh$  فشار افزایش و حجم کاهش مییابد. وضع گاز

در اینحال، باوضع گازکامل تفاوت محسوسی ندارد. در نقطه  $k$  قطرات مایع شروع به پیدایش کرده حجم کم میشود ولی فشار ثابت میماند.

در نقطه  $z$  همه جسم، مایع شده است. افزایش فشار باعث کاهش حجم میشود ولی مقدار آن بسیار کم و تابع ضریب تراکم مایع است. برای جسمی نظیر آنچه در شکل ۱۸-۷ نشان داده شده است، با افزایش فشار و رسیدن به نقطه  $k$  و عبور از آن تغییر حالت دیگری اتفاق می افتد. ( مگر اینکه جسم جامد بصورت دیگری وجود داشته باشد. به شکل ۱۸-۸ و بحث مربوط بان رجوع کنید.) در شکل ۱۸-۶ شکستگی دیگری در نقطه  $k$  دیده میشود. در اینجا بلورهای جامد تشکیل میشوند و حجم جسم، بی آنکه فشار خارجی افزایش یابد نقصان پیدا میکند. در نقطه  $l$  در شکل ۱۸-۶ جسم کلاً بصورت جامد درآمده است. افزایش بیشتر فشار خارجی، حجم جسم جامد را فقط به میزان بسیار کم کاهش میدهد و جسم تغییر حالت دیگری پیدا نمیکند مگر اینکه بیش از یک حالت جامد برای آن وجود داشته باشد.



شکل ۱۸-۸ قسمتی از سطح  $pVT$  آب در فشارهای خیلی زیاد

مثال دیگری برای استفاده از سطح  $pVT$  در فهم تحول اجسام بیان میکنیم. فرض کنیم از نقطه  $h$  شکل های ۱۸-۶ و ۱۸-۷ شروع کنیم. گاز درون سیلندر در دمای پائین تر

قرار دارد. هر گاه فشار را بطور ایزوترم افزایش دهیم. در نقطه  $O$  بلورهای جامد پدید می آیند و گاز مستقیماً وبدون عبور ازحالت مایع ، بجامد تبدیل میشود. فشار در امتداد خط  $op$  ثابت میماند و در نقطه  $p$  تمام جسم بجامد تبدیل شده است. در شکل ۱۸-۶ تغییر حالت دیگری اتفاق نمی افتد ولی در شکل ۱۸-۷ در نقطه  $q$  جسم جامد شروع به ذوب شدن کرده در  $r$  تماماً بمایع تبدیل شده است .

بخطاظر داشته باشید که در تمام تحولات فوق الذکر ، باید پیوسته ازجسم گرما گرفته شده یا بان داده شود تا فشار پادما ثابت بماند. هر گاه در هر وضع معین ازهریک از تحولات مذکور، جسم را چنان عایق پوش کنند که گرما با خارج مبادله نکند ، و فشار خارجی نیز ثابت نگاهداشته شود ، جسم بحال تعادل باقی میماند. بنابراین درهریک از نقاط سطوحی که روی آنها  $solid-liquid$  یا  $solid-vapor$  یا  $liquid-vapor$  نوشته شده است، هر دو حالت جسم و در امتداد خط سه گانه  $triple line$  هر سه حالت جسم در مجاورت هم بحال تعادل قرار دارند . در دما و فشار معین ، بخار و مایع بحال تعادل وجود دارند و این نوع بخار را بخار اشباع  $Saturated vapor$  و مایع را مایع اشباع  $Saturated liquid$  مینامند . بنابراین نقاط  $e$  و  $h$  بخار اشباع و نقاط  $z$  و  $l$  مایع اشباع را نشان میدهند. ( انتخاب کلمه اشباع در مورد فوق چندان مناسب نیست. زیرا در اینجا بر خلاف محلول اشباع، که در شیمی خوانده اید یک جسم ، در جسم دیگر حل نشده است).

### ۱۸-۵، نقطه بحرانی و نقطه سه گانه

بآدرک آنچه در باره شکل های ۱۷-۶ و ۱۷-۷ گفته شد معلوم میشود که مایع و گاز (یا بخار) فقط بشرطی که میتوانند در مجاور هم وجود داشته باشند که دما و فشار ، کمتر از مقادیری باشند که ، در بالاترین نقطه منحنی « زبانی شکل » باشند که در شکل ۱۸-۵  $liquid-vapor$  مشخص شده است . این نقطه را نقطه بحرانی یا  $critical point$  و مقادیر  $T$  و  $p$  و  $v$  مربوط به این نقطه را دمای بحرانی ، فشار بحرانی و حجم مخصوص بحرانی مینامند . وقتی دمای گازی بیشتر از دمای بحرانی باشد (مثلاً  $T_p$ ) تراکم ایزوترم گاز نمیتواند تغییر حالتی در آن ایجاد کند بلکه خواص گاز تغییرات تدریجی و متصل از خواص گازها (توده ویژه کم و ضریب تراکم زیاد) به خواص مایع (توده ویژه زیاد و ضریب تراکم کم) را خواهد داشت . (در جدول ۱۸-۱ مقادیر ثابت بحرانی چند جسم ثبت شده است . پائین بودن دمای بحرانی هیدروژن و هلیوم میتواند دلیل واضحی بر این باشد که چرا کوششهای فراوان که جهت مایع کردن این دو گاز بکار برده میشد سالهای متمادی بثمر نرسید .



جدول ۱۸-۱  
مقادیر بحرانی

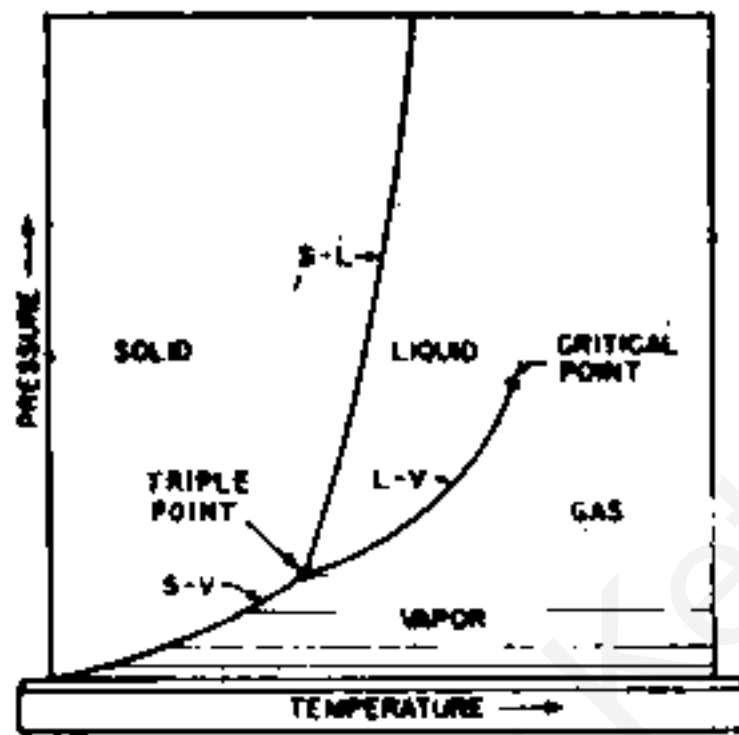
نوده ویژه بحرانی gm/cm <sup>3</sup>	حجم بحرانی cm <sup>3</sup> /mole	فشار بحرانی atm	دمای بحرانی °K	نام جسم
۰/۰۶۹۳	۵۷/۸	۲/۲۶	۲/۵	هلیوم ۴
۰/۰۴۱۳	۷۲/۶	۱/۱۵	۲/۲۴	هلیوم ۳
۰/۰۳۱۰	۶۵/۰	۱۲/۸۰	۲۳/۳	هیدرژن
—	—	۱۶/۴	۳۸/۴	دوتریوم
۰/۳۱۱	۹۰/۱	۳۳/۵	۱۲۶/۲	ازت
۰/۴۱	۷۸	۵۰/۱	۱۵۴/۸	اکسیژن
۰/۲۳۵	۷۲/۵	۱۱۱/۳	۴۰۵/۵	آمونیاک
۰/۵۵۵	۲۱۸	۳۹/۶	۳۸۴/۷	فرلون ۱۲
۰/۴۶۸	۹۴/۰	۷۲/۹	۳۰۴/۲	انیدرید کربنیک
۰/۵۲۴	۱۲۲	۷۷/۸	۴۳۰/۷	انیدرید سولفور
۰/۳۲	۵۶	۲۱۸/۳	۶۴۷/۴	آب
۰/۴۴	۱۷۰	۷۸	۵۵۲	سولفور کربن

«بخار» گاهی به جسم در پائین‌تراز دمای بحرانی و گاهی اوقات نیز به بخاریکه با مایع خود بحال تعادل باشد یعنی «بخار اشباع» اطلاق میشود. اما باید دانست که هیچگاه در خواص جسم، وقتی منحنی ایزوترم بحرانی آن، سطحی را که روی آن گاز و بخار و نیز سطحی که روی آن مایع نوشته شده قطع میکند تغییر آنی و سریعی ایجاد نمیشود. مسلم شده است که بعضی اجسام بیش از یک حالت جامد دارند. تغییر حالت، از یک شکل جامد بشکل دیگر، مانند تغییر حالت از مایع بجامد و غیره در دمای معین و تحت اثر فشار

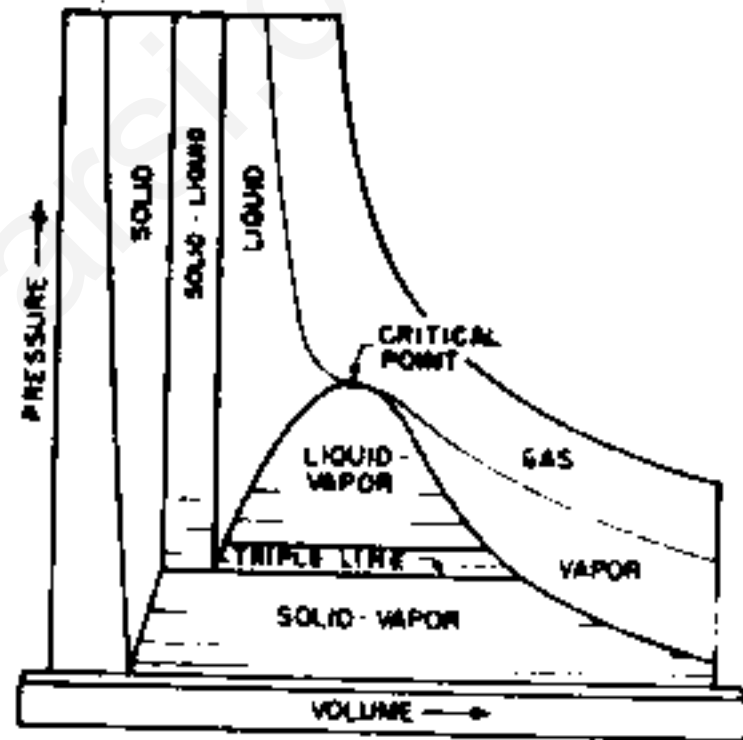
معین صورت می گیرد . آب از این دسته اجسام است و در فشارهای بالا؛ لااقل ۸ نوع یخ دیده شده است . شکل ۸-۱۸ قسمتی از سطح  $pVT$  را در فشارهای بالا نشان میدهد . یخ معمولی تنها نوع یخ است (یخ I) که حجم مخصوص آن بیش از حجم مخصوص مایع (آب) است .

چون نمایش سطح  $pVT$  در فضای سه بعدی کمی مشکل است ، معمول براین است که تصویر این سطح برصفحات  $pV$  و  $pT$  نشان میدهند .

در شکل ۹-۱۸ دو تصویر از شکل ۶-۱۸ و در شکل ۱۰-۱۸ دو تصویر از شکل ۷-۱۸ برصفحات مذکور نشان داده شده است . بهمه دانشجویان است که منحنی های ایزوترم و

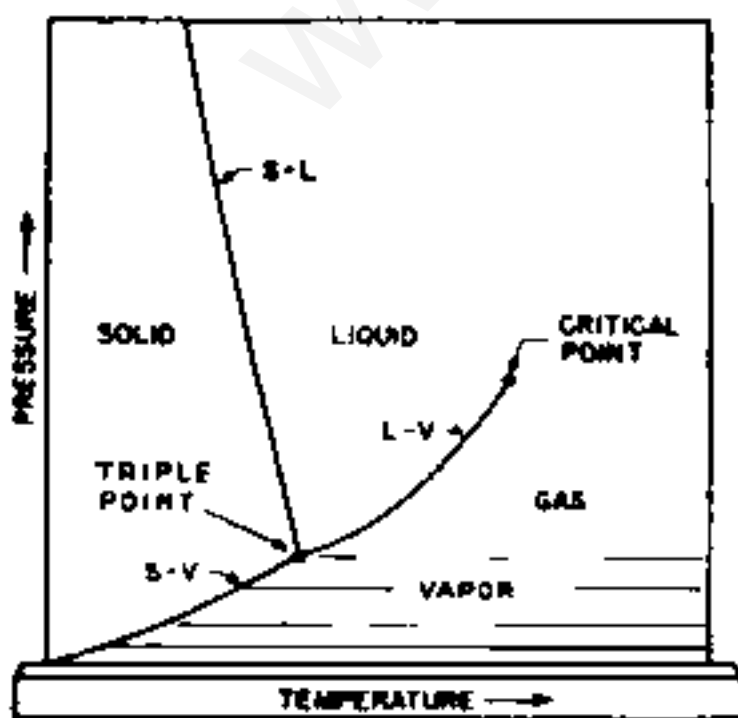


(a)

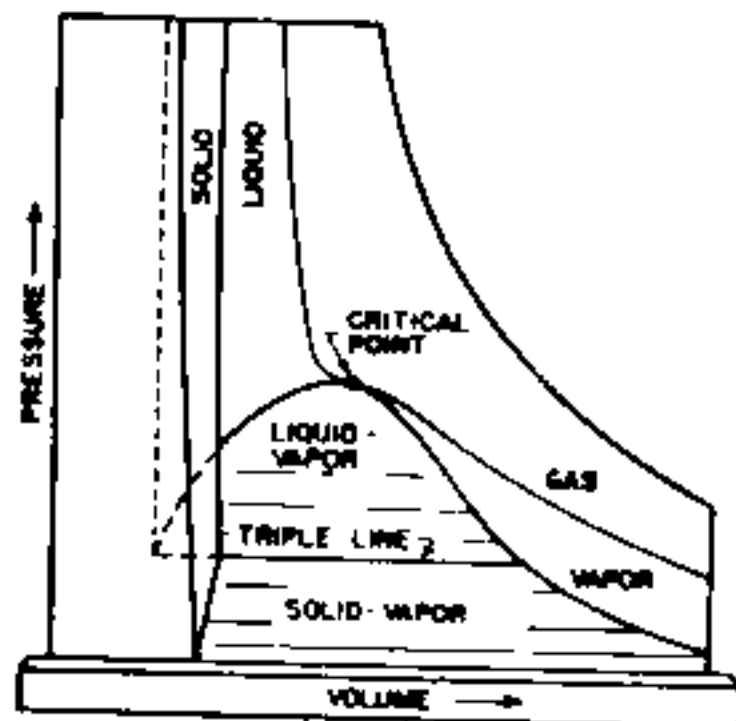


(b)

شکل ۹-۱۸ تصویر-سطح  $pVT$  شکل ۶-۱۸ برصفحات  $pT$  و  $pV$



(a)



(b)

شکل ۱۰-۱۸ تصویر-سطح  $pVT$  شکل ۷-۱۸ برصفحات  $pT$  و  $pV$

ایزوبار را که در این تصاویر نشان داده شده‌اند، در روی سطح  $pVT$  شکل‌های مذکور پیدا کنند.

منحنی‌های شکل ۹-۱۸ (a) و ۱۰-۱۸ (a) که با حروف  $L-S$  و  $S-V$  و  $L-V$  مشخص شده‌اند؛ هر یک نمای جانبی سطوحی هستند که در شکل‌های ۹-۱۸ (b) و ۱۰-۱۸ (b) اثر آنها بر صفحه تصویر، بصورت خطوطی نشان داده شده است. هر یک از این منحنی‌ها مکان هندسی دما و فشارها را که بازاه آنها دو جسم بحال تعادل وجود دارند نشان می‌دهد. هر گاه ظرف محتوی مایع و جامد با خارج مبادله گرما نکند، مایع و جامد بحال تعادل در مجاورت هم وجود خواهند داشت و نسبت جرم آنها ثابت میماند. هر گاه از خارج، گرما وارد ظرف شود جامد بمایع تبدیل میشود و اگر از ظرف، گرما بخارج داده شود مایع بحامد تبدیل میگردد. (منحنی  $S-L$ ). بنابراین منحنی  $S-L$  منحنی نمایش تغییرات دمای ذوب یا انجماد جسم بر حسب فشار نیز هست و بهمین ترتیب  $S-V$  منحنی تغییرات دمای تصعید بر حسب فشار و منحنی  $L-V$  منحنی تغییرات نقطه جوش بر حسب فشار است. منحنی‌های  $S-V$  و  $L-V$  دارای شیب متمایل بچپ و رو به بالا هستند. شیب منحنی  $S-L$  برای اجسامی که در حین ذوب منقبض میشوند رو به بالا بطرف راست و برای اجسامی که در حین ذوب منقبض میشوند بطرف بالا و بطرف چپ متمایل است. (بترتیب شکل‌های ۹-۱۸ و ۱۰-۱۸) بنابراین، افزایش فشار باعث بالا رفتن نقطه جوش و نقطه تصعید میشود ولی نقطه ذوب ممکن است با افزایش فشار بالا رود (شکل ۹-۱۸) یا پائین آید (شکل ۱۰-۱۸).

فشار بخار جسمی را که در مجاورت مایع خود قرار داشته باشد فشار بخار اشباع مینامیم. منحنی‌های  $S-V$  و  $L-V$  شکل‌های ۹-۱۸ (a) و ۱۰-۱۸ (a) منحنی‌های تغییر فشار بخار اشباع بر حسب دما هستند. فشار اشباع جسم فقط تابع دماست و به حجم بستگی ندارد. یعنی در ظرفی که در آن مایع (یا جامد) و بخار در دمای معینی، بحال تعادل وجود دارد؛ فشار تابع نسبت اندازه‌های مایع و بخار نیست. وقتی حجم را کم کنیم قسمتی از بخار بمایع تبدیل میشود و بالعکس. فقط برای اینکه دما ثابت بماند باید مقداری گرما از ظرف گرفته (موقع کاهش حجم) یا بآن بدهیم (در موقع افزایش حجم).

نقطه جوش يك مایع دمائی است که در آن دما، فشار بخار اشباع با فشار خارجی برابر شود. در جدول ۲-۱۸ فشار بخار اشباع آب در دماهای مختلف ثبت شده است و چنانکه ملاحظه میشود، فشار بخار اشباع آب در دمای  $100^{\circ}C$  برابر  $760$  میلی‌متر جیوه یعنی يك اتمسفر است. هر گاه فشار خارجی به  $17/5^{\circ}C$  کاهش یابد، آب در دمای معمولی ( $20^{\circ}C$ ) بجوش میاید، در حالیکه در فشار  $9.0 \text{ lb/in}^2$  ( $6$  اتمسفر) نقطه جوش به  $160^{\circ}C$  میرسد.

جدول ۱۸-۴  
فشار بخار اشباع آب

دما °C	فشار بخار به میلیمتر جیوه	فشار بخار به lb/in <sup>2</sup>	دما °F
۰	۴/۵۸	۰/۰۸۸۶	۳۲
۵	۶/۵۱	۰/۱۲۶	۴۱
۱۰	۸/۹۴	۰/۱۷۳	۵۰
۱۵	۱۲/۶۷	۰/۲۴۵	۵۹
۲۰	۱۷/۵	۰/۳۳۹	۶۸
۴۰	۵۵/۱	۱/۰۷	۱۰۴
۶۰	۱۴۹	۲/۸۹	۱۴۰
۸۰	۳۵۵	۶/۸۷	۱۷۶
۱۰۰	۷۶۰	۱۴/۷	۲۱۲
۱۲۰	۱۴۹۰	۲۸/۸	۲۴۸
۱۴۰	۲۷۱۰	۵۲/۴	۲۸۴
۱۶۰	۴۶۳۰	۸۹/۶	۳۲۰
۱۸۰	۷۵۱۰	۱۴۵	۳۵۶
۲۰۰	۱۱۶۵۰	۲۲۵	۳۹۲
۲۲۰	۱۷۳۹۰	۳۳۶	۴۲۸

محل برخورد سه منحنی متبادل در منحنی‌های شکل ۱۸-۹ (a) و ۱۸-۱۰ (a) را که در حقیقت نمای جنبی خطوط سه‌گانه یا **triple line** شکل‌های ۱۸-۹ (b) و ۱۸-۱۰ (b) هستند نقطه سه‌گانه یا **triple point** مینامند. تنها در یک دما، سه

حالت جسم میتوانند بحال تعادل وجود داشته باشند. نقطه سه گانه بعضی از اجسام در جدول ۱۸-۳ ثبت شده است.

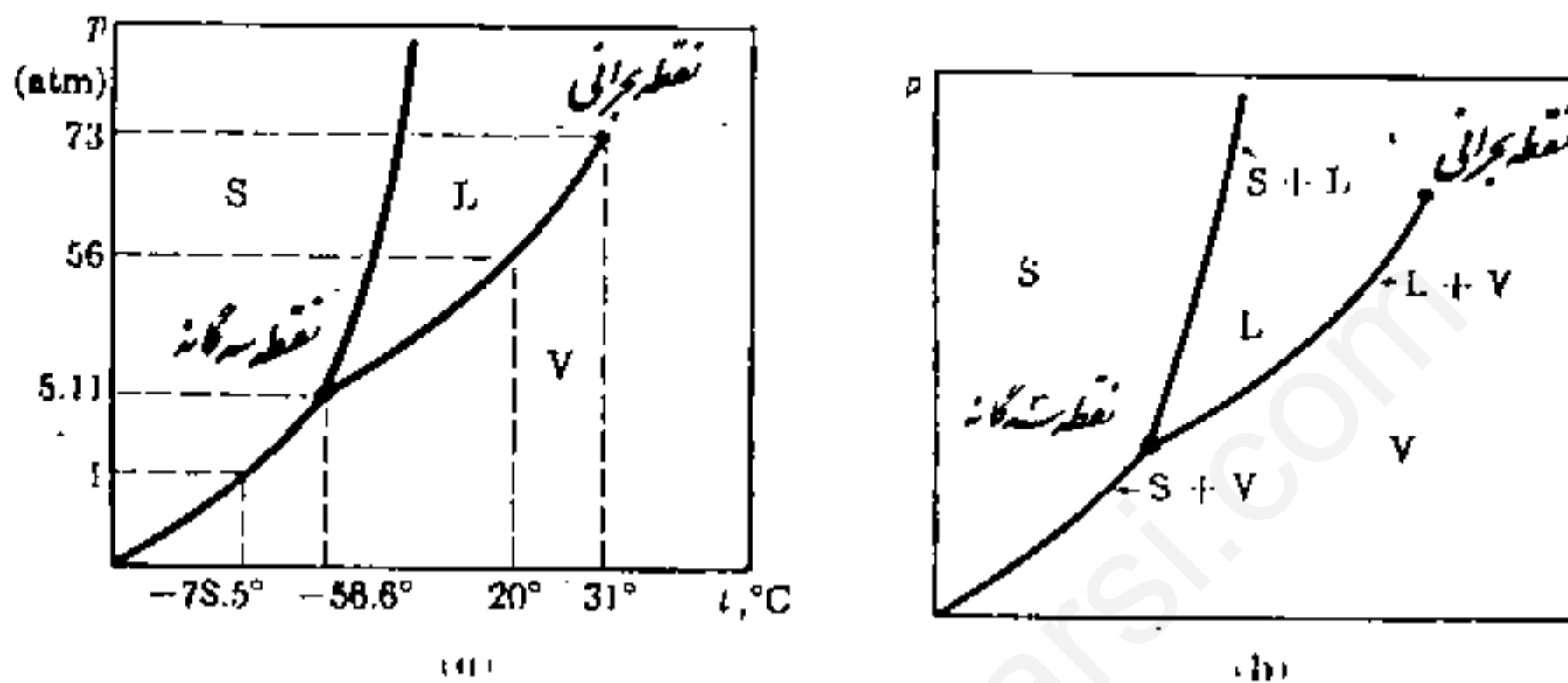
## جدول ۱۸-۳

## نقاط سه گانه

فشار بر حسب میلیمتر جیوه	دما °K	نام جسم
۳۸/۴	۲/۱۸۶	هلیوم ۴ (نقطه λ)
—	—	هلیوم ۳
۵۲/۸	۱۳/۸۴	هیدروژن
۱۲۸	۱۸/۶۳	دوتریوم
۳۲۴	۲۴/۵۷	نئون
۶۴	۶۳/۱۸	ازت
۱/۱۴	۵۴/۳۶	اکسیژن
۴۵/۵۷	۱۹۵/۴	آمونیاک
۳۸۸۰	۲۱۶/۵۵	انیدرید کربنیک
۱/۲۵۶	۱۹۶/۶۷	انیدرید سولفور
۴/۵۸	۲۷۳/۱۵	آب

بمنوان مثال دیاگرام  $p-T$  آب و انیدرید کربنیک را که در شکل ۱۸-۱۱ (a) و (b) نشان داده شده اند در نظر بگیرید. در (a) خط افقی که معرف فشار يك اتمسفر است منحنی انجماد را در  $0^{\circ}\text{C}$  و منحنی جوش را در  $100^{\circ}\text{C}$  قطع میکند. نقطه جوش با ازدیاد فشار میتواند تا  $374^{\circ}\text{C}$  که دمای بحرانی آب است بالا رود. جامد، مایع و بخار فقط میتوانند در نقطه سه گانه بحال تعادل، در مجاورت یکدیگر وجود داشته باشند. فشار بخار اشباع در این نقطه  $4/5$  میلیمتر جیوه و دما  $0/1^{\circ}\text{C}$  است.

نقطه انجماد هر جسم نظیر آب که در حین انجماد منقبض میشوند صادق است. تغییر در نقطه ذوب در اثر فشار بمراتب کمتر از بالا رفتن نقطه جوش در اثر ازدیاد فشار است، افزایش فشاری برابر یک اتمسفر دمای نقطه انجماد آنرا فقط  $0.007^{\circ}\text{C}$  پائین میآورد.

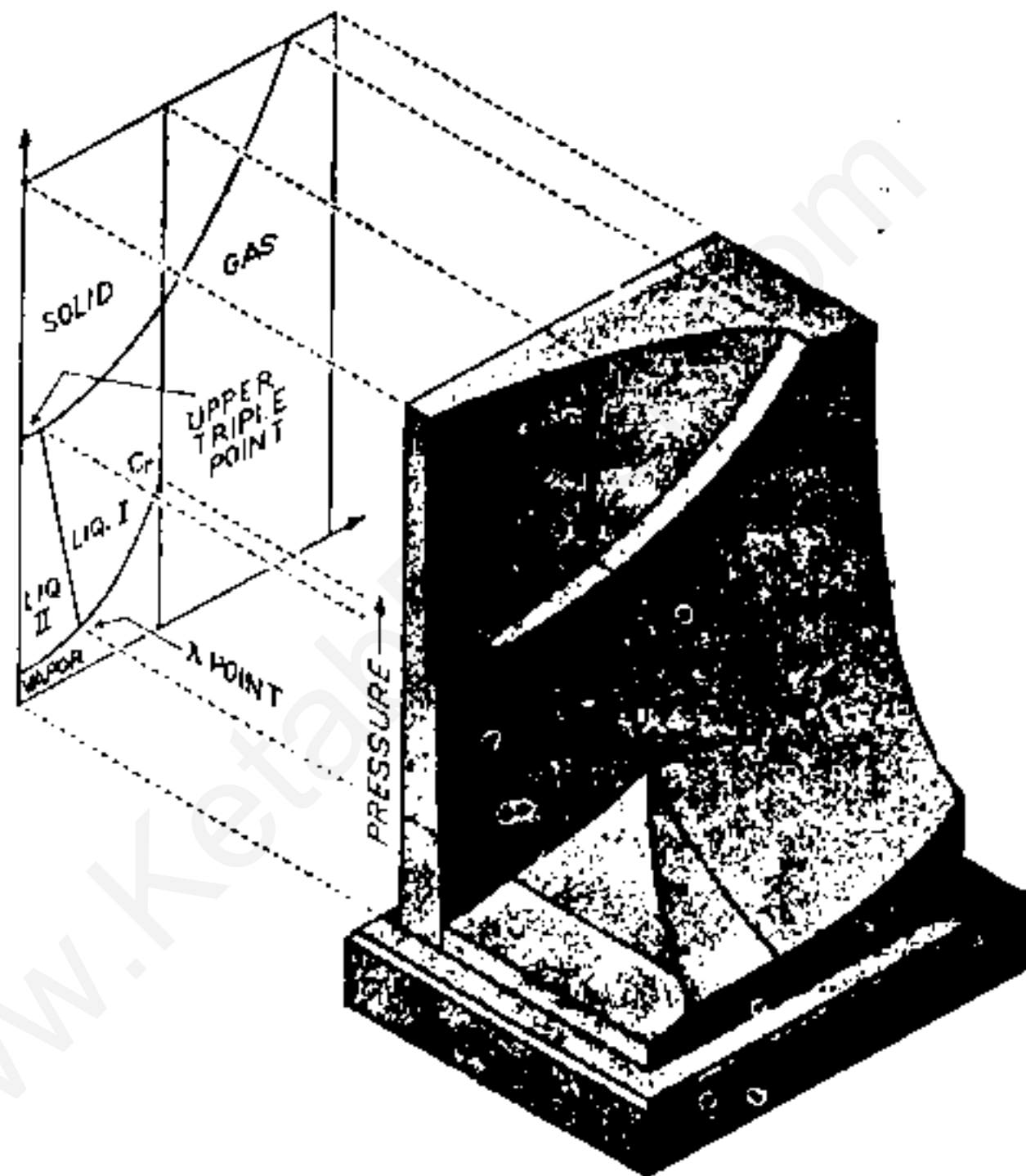


شکل ۱۸-۱۱، دیاگرام فشار - دما. (مقیاس متشابه نیست)

هر گاه حلقه‌ای فلزی را بدور قطعه‌ای یخ قرار داده و زنه‌ای بآن آویزان کنیم، میتوانیم اثر فشار را در پائین آوردن نقطه ذوب یخ به بینیم. فرض کنیم دمای قطعه یخ صفر سلسزیوس و فشار آن فشار جو باشد. نقطه ذوب آن قسمت از یخ که در زیر سیم واقع است، در اثر فشار وارده از زنه، پائین‌تر از  $0^{\circ}\text{C}$  قرار میگیرد. پس یخ زیر سیم در اثر فشار زیاد، ذوب شده از زیر سیم خارج میشود و همینکه بیالای سیم که فشار آن برابر فشار جو است رسید مجدداً به یخ تبدیل میشود. گرمای حاصل از یخ زدن مجدد آب، از سیم عبور کرده به یخ زیر آن رسیده آنرا ذوب میکند.

سیم بتدریج در یخ فرو می‌رود و پس از مدتی از پائین آن بیرون می‌افتد بدون اینکه قطعه یخ را بدو تکه مجزا تقسیم کرده باشد. این پدیده را انجماد مجدد یا *regelation* مینامند. چون گرمای حاصل از انجماد مجدد باید از طریق سیم به یخ زیر سیم هدایت شود هر چه ضریب هدایت گرمایی سیم بیشتر باشد سیم زودتر از یخ عبور میکند اما باید توجه داشت که حتی اگر سیم، هادی مطلق باشد نمیتواند با سرعت خیلی زیاد، از یخ عبور کند. زیرا ضریب هدایت گرمایی لایه بسیار نازک آب که همیشه در زیر سیم قرار دارد بسیار کم است. دمای نقطه سه گانه انیدرید کربنیک  $56.6^{\circ}\text{C}$  - و فشار بخار اشباع در این نقطه  $5.11\text{ atm}$  است. بنابراین در فشار جو، انیدرید کربنیک فقط میتواند بصورت جامد یا گاز وجود داشته باشد. وقتی با انیدرید کربنیک جامد، در فشار جو، گرما دهیم، مستقیماً وبدون عبور از حالت مایع، به بخار تبدیل میشود و به همین جهت آنرا «یخ خشک» نامیده‌اند

انیدرید کربنیک مایع فقط در فشارهای بیش از  $5/11 \text{ atm}$  میتواند وجود داشته باشد. برای نگاهداری انیدرید کربنیک مایع ظرفهای فولادی محکم است. در این ظرفها، انیدرید - کربنیک مایع و گاز بحال تعادل وجود دارند (و هر دو بحال اشباع هستند) فشار درون ظرف فشار بخار اشباع  $\text{CO}_2$  در دمای ظرف است. هر گاه دمای ظرف  $20^\circ\text{C}$  باشد فشار مذکور برابر  $56 \text{ atm}$  یا  $830 \text{ lb/in}^2$  است).



شکل ۱۸-۱۲، سطح PVT برای هلیوم

در شکل ۱۸-۱۲ سطح  $pVT$  برای هلیوم معمولی (با وزن اتمی ۴) نشان داده شده است. خواص زیر با مطالعه در شکل مذکور ملاحظه میشود. (۱) هلیوم، نقطه سه گانه‌ای که در آن مایع، جامد و گاز، بحال تعادل وجود داشته باشد ندارد. در عوض دو نقطه سه گانه دیگر دارد. نقطه سه گانه پائینی را نقطه  $\lambda$  مینامند. در این نقطه سه گانه، هلیوم گاز و دو نوع هلیوم مایع I و II بحال تعادل وجود دارد. دو نقطه سه گانه بالایی، دو حالت مایع با هلیوم جامد بحال تعادل وجود دارند. (۲) فقط با کاهش دما، هلیوم جامد نمیشود و ممکن است تا صفر مطلق بحال مایع باقی بماند. هلیوم وقتی جامد میشود که فشار وارده لا اقل  $25 \text{ atm}$  باشد تا فاصله آنها بقدر کافی کم شده آنها بتوانند یکدیگر را جذب کنند و بشکل بلورین بخود بگیرند.

## ۱۸-۶، اثر حل مواد بر نقطه جوش و نقطه ذوب يك جسم

هر گاه جسمی در مایعی حل شود نقطه انجماد آن پائین آمده نقطه جوش آن بالا می‌رود مثلاً حل ضد یخ در آب، باعث پائین آمدن نقطه انجماد آن می‌شود. دمای انجماد آب وقتی از نمک طعام، اشباع شده باشد در حدود  $20^{\circ}\text{C}$  - است برای اینکه بدانیم چرا حل مواد خارجی در يك مایع، دمای انجماد آنرا پائین می‌آورد باید قبلاً بدانیم که دمای انجماد، یعنی تنها دمائی که در آن، مایع جامد بحال تعادل وجود داشته باشد. وقتی يك محلول اشباع نمک طعام را سرد می‌کنیم در  $20^{\circ}\text{C}$  - بلورهای یخ ( $\text{H}_2\text{O}$  خالص) از محلول جدا می‌شود. بزبان دیگر، بلورهای یخ و محلول آب نمک فقط می‌توانند در  $20^{\circ}\text{C}$  - بحال تعادل وجود داشته باشند. عیناً مثل اینکه بلورهای یخ و آب خالص  $0^{\circ}\text{C}$  می‌توانند بحال تعادل باشد. هر گاه مقداری یخ در محلول نمک در  $20^{\circ}\text{C}$  بیندازیم، یخ آب شده گرمای ذوب را از آب نمک گرفته آنرا سرد می‌کند وقتی دما به  $0^{\circ}\text{C}$  رسید یخ و آب نمک هنوز نمی‌توانند بحال تعادل در مجاور یکدیگر باشند. یخ به ذوب شدن ادامه می‌دهد. اینک هم خود یخ و هم آب نمک، گرمای لازم برای ذوب یخ را تأمین و هر دو، سرد می‌شوند تا دما به  $20^{\circ}\text{C}$  - برسد هر گاه گرما از خارج بظرف وارد نشود، مخلوط تغییری پیدا نمی‌کند. هر گاه مخلوط را در مجاورت جسم گرمی قرار دهیم، مثلاً مخلوط شیر و شکر با دمای  $20^{\circ}\text{C}$ ، گرما از شیر و شکر به مخلوط یخ و آب نمک منتقل می‌شود، یخ بازم، ذوب می‌شود بدون اینکه دمای مخلوط بالا رود و تا هنگامی که آخرین ذره یخ باقی است دما بالا نمی‌رود انتقال گرما از شیر و شکر به یخ و آب نمک، دمای شیر و شکر را آنقدر پائین می‌آورد که پائین تر از دمای ذوب برسد (این دما زیر  $0^{\circ}\text{C}$  است چه مخلوط شیر و شکر نیز خود يك محلول است) و مخلوط شیر و شکر منجمد و به بستنی تبدیل می‌شود.

نقطه جوش نیز با حل مواد خارجی در مایع تغییر می‌کند و ممکن است بالا رفته یا پائین آید. محلول آب و الکل در دمائی پائین تر از دمای جوش آب خالص بجوش می‌آید؛ در حالی که دمای جوش آب نمک بالاتر از دمای جوش آب خالص است.

## ۱۸-۷، رطوبت

هوای جو زمین گاز مخلوطی است که در حدود ۸۰٪ آن ازت، ۱۸٪ آن اکسیژن و جزء ناچیزی از آن انیدرید کربنیک، بخار آب و سایر گازهاست. جرم آب موجود در هر واحد حجم از هوا را رطوبت مطلق هوا می‌نامند فشار جو، مجموع فشارهای جزئی گازهای مختلف موجود در هواست. فشار جزئی، فشار یکی از گازهای موجود در هوا می‌باشد. دالتن اولین بار کشف کرد که فشار جزئی هر گاز عیناً برابر فشاری است که اگر آن گاز بخصوص بشنوائی



در محیط وجود داشت، بر اطراف خود وارد می‌آورد. یعنی اگر مثلاً در یک ظرف ۴kgm ازت و ۱kgm اکسیژن با فشار کل یک اتمسفر موجود باشد و در دو ظرف دیگر که با ظرف اول مساویند، در یکی فقط ۴kgm ازت و در دیگری فقط ۱kgm اکسیژن وجود داشته باشد فشار ظرف اول بتهائی، برابر مجموع فشارهای ظرف دوم و سوم است. فشار جزئی بخار آب موجود در هوا در حدود چند میلی‌متر جیوه است. (دما ثابت است).

واضح است که فشار جزئی بخار آب موجود در هوا، در دمای معین، هیچگاه نمیتواند بیش از فشار بخار اشباع آب، در آن دما باشد. بنا بر این بر اساس جدول ۱۸-۲، در دمای ۱۰°C فشار جزئی بخار آب موجود در هوا نمیتواند بیش از ۸/۹۴ میلی‌متر جیوه و در ۱۵°C نمیتواند بیش از ۱۲/۶۷ میلی‌متر جیوه باشد. هرگاه فشار بخار آب موجود در هوا در دمای معین، برابر فشار بخار آب اشباع در آن دما باشد، هوا را اشباع از بخار آب مینامند هرگاه فشار بخار آب موجود در هوا، از فشار بخار آب اشباع کمتر باشد هوا از بخار آب اشباع نیست و آنرا هوای غیر اشباع مینامند. نسبت بخار آب موجود در هوا را در دمای معین، به فشار بخار اشباع در همان دما، رطوبت نسبی هوا مینامند و معمولاً با درصد بیان میشود.

$$\text{فشار جزئی بخار آب موجود در هوا} \\ \text{فشار بخار آب در همان دما} = ۱۰۰\% \text{ رطوبت نسبی}$$

وقتی رطوبت نسبی ۱۰۰٪ است هوا از بخار آب اشباع و وقتی صفر است بخار آب اصلاً در هوا نیست و هوا صد درصد خشک است.

مثال - در دمای ۲۰°C فشار بخار آب در هوا ۱۰mm جیوه است. رطوبت نسبی هوا را پیدا کنید.

از جدول ۱۸-۲ فشار بخار اشباع در دمای ۲۰°C برابر ۱۷/۵ میلی‌متر جیوه است پس داریم.

$$\text{رطوبت نسبی} = \frac{۱۰}{۱۷/۵} \times ۱۰۰ = ۵۷\%$$

چون هوا موقعی از بخار آب اشباع میشود که فشار جزئی بخار آب با فشار بخار آب اشباع برابر شود، لذا میتوان با افزایش بخار آب موجود در هوا و یا با پائین آوردن دما، هوا را بحال اشباع از بخار آب، در آورد. مثلاً هرگاه هوا مانند مثال قبل در دمای ۲۰°C و فشار بخار آن ۱۰mm جیوه باشد میتوان در دمای ثابت، آنقدر بخار آب به هوا اضافه نمود تا فشار بخار اشباع آن ۱۷/۵ میلی‌متر جیوه شود، بادمای هوا را آنقدر پائین آورد

(بنابر جدول ۱۸-۲ تا  $11/4^{\circ}\text{C}$ ) تا فشار بخار اشباع در آن دما ۱۰ میلی متر جیوه باشد . هر گاه دمای هوای مذکور، پائین تر از  $11/4^{\circ}\text{C}$  شود فشار بخار اشباع، از ۱۰ میلی متر جیوه کمتر خواهد شد. فشار جزئی بخار آب موجود در هوا بیش از فشار بخار اشباع میشود و قسمتی از بخار، بمایع تبدیل میشود تا این فشار جزئی برابر فشار بخار اشباع گردد. پیدایش ابر، مه و باران بهمین نحو صورت میگیرد. این پدیده در شب که دمای سطح زمین پائین میآید باعث ریزش ذرات ریز آب بسطح زمین میشود که آنرا شبنم مینامند. هر گاه دمای هوا پائین تر از صفر رود، ذرات آبی که بسطح زمین میریزد منجمد شده تشکیل «برفك» میدهند . دمائی را که در آن، بخار آب موجود در نمونه ای از هوا، بحال اشباع در میآید، نقطه شبنم آن هوا مینامند. اندازه گیری نقطه شبنم یکی از دقیق ترین طریق تعیین رطوبت نسبی هواست. روش تعیین نقطه شبنم چنین است که ظرفی فلزی را که سطح دیواره آن صیقلی و مانند آینه است، آنقدر سرد میکنند تا مات شود. در اینحال، ذرات بسیار زیر آب بر روی آن نشسته است و این دلیل بر اشباع شدن هوا از بخار آب است . فرض کنیم نقطه شبنم هوای  $20^{\circ}\text{C}$ ، برابر  $10^{\circ}\text{C}$  باشد. می بینیم که بخار آب موجود در این هوا در  $10^{\circ}\text{C}$  بحال اشباع در میآید یعنی فشار آن  $8/94$  میلی متر جیوه است. (برابر فشار بخار اشباع در دمای  $10^{\circ}\text{C}$ ) فشار لازم برای اینکه بخار آب در دمای  $20^{\circ}\text{C}$  اشباع شود برابر  $17/5$  میلی متر جیوه است. رطوبت نسبی چنین محاسبه میشود :

$$\frac{8/94}{17/5} \times 100 = 0/51$$

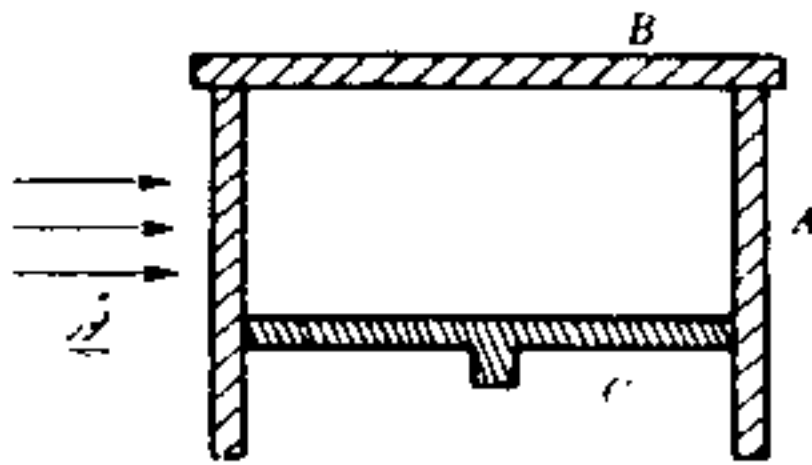
روش ساده تر ولی کم دقت تر اندازه گیری رطوبت نسبی استفاده از دماسنج های با مخزن های تر و خشك است. دو دماسنج در مجاور یکدیگر قرار دارند. مخزن یکی از آنها پیوسته بكمك فنیله ای که انتهای آن در آب است، مرطوب نگاه داشته میشود و مخزن دیگری آزادانه در هوا قرار دارد. هر چه رطوبت نسبی هوا کمتر باشد، سرعت تبخیر، بیشتر و دمای دماسنجی که مخزن آنرا فنیله احاطه کرده است پائین تر میآید. با هر دو دستگاه، جدولی همراه است که رطوبت نسبی را از روی اختلاف دمای دو دماسنج میتوان تعیین نمود.

### ۱۸-۸، اتاقک ابری ویلسن و Bubble chamber

اتاقک ابری ویلسن دستگاهی است که برای کسب اطلاعات مقدماتی از ذرات کوچکتر از هسته نظیر الکترون و ذره  $\alpha$  مفید است. (شکل ۱۸-۱۳) این اتاقک تشکیل شده است از يك ظرف استوانه ای که جدار آن A و نیز قسمتی از سرپوش آن (B) شیشه ایست. پیستن C میتواند دورن سیلندر ح-رکت کند. درون سیلندر را ه-وا، بخار

آب و مقداری آب پر کرده است تا بخار آب همیشه بحال اشباع باشد. (بعضی اوقات از مایعات دیگر نظیر الکل نیز بجای آب استفاده میشود). هر گاه پیستن را بتندی بفاصله کوتاهی پائین بکشیم، دمای مخلوط پائین آمده کمتر از نقطه شبنم میشود. هر گاه هوا کاملاً تمیز باشد فوراً بخارهای اضافی بمایع تبدیل نمیشود و گویند هوا بحال فوق اشباع درآمده است نقطه‌ای که معرف این وضع بخار است بر بالای سطح  $pVT$  است. اما متناقض با آنچه قبلاً گفته‌ایم نیست چه، سطح  $pVT$  معرف حالات تعادل جسم است و نقاط واقع بر آن، اوضاع مختلفی تعادل میباشند درحالیکه، فوق اشباع، حالت تعادل ناپایدار است. هر گاه یونی در

چنین محیطی بوجود آید ذرات بخار را بدور خود جمع و قطرات ریزی را تشکیل میدهند. بنابراین هر گاه قبل از پائین کشیدن پیستن، در نقاط مختلف درون اتاقک، یونهای وجود داشته باشند، این یونها پس از پائین کشیدن پیستن بلافاصله مراکز تشکیل ابرهای ظریفی میشوند.



شکل ۱۳-۱۸

الکترون، پروتون و ذره  $\alpha$  میتواند تا حدود

چند سانتیمتر در هوا حرکت کنند. اما در حین عبور، برخوردی بین آنها و مولکولهای موجود در مسیر اتفاق افتاده، الکترونها از مولکولها کنده میشود یعنی در مسیر، تعداد زیادی یون بوجود میآید. پس هر گاه لحظه کوتاهی پیش از پائین کشیدن پیستن، الکترون، پروتون یا ذره  $\alpha$  از داخل اتاقک، عبور کرده باشد، با پائین کشیدن پیستن، مسیر آنها بشکل خطوط ابری ظاهر میشوند. از دیواره جانبی  $B$  شعاع قوی نور، درون اتاقک تابانیده از آن عکس برداری میکنند. (از محل سرپوش  $B$ ) شکل ۸-۱۱ عکسی است که بکمک اتاقک ابری ویلسن برداشته شده و در آن مسیر ذرات حاصل از شکستن هسته اورانیوم نمایان است.

**Bubble chamber** دستگاهی است که اخیراً ساخته شده و برای تعیین مسیر

ذرات کوچکتر از هسته، بر اساس استفاده از مایع اشباع فوق مورد استفاده قرار میگیرد. (مایع فوق اشباع، مایعی است که دمای آن، کمی بالاتر از دمای جوش در همان فشاری که بر مایع اثر میکند باشد، این مایع نیز در حال ناپایداری است). یونهای که در مایع به خود میآیند مرکز تشکیل حبابهای بخار میشوند. این حبابها فوق العاده ظریف هستند. در مسیر ذراتی نظیر الکترون، پروتون و  $\alpha$  در مایع، یونهای زیادی بوجود میآیند، بنابراین، خط ابری شکلی در مسیر حرکت یونها ظاهر میشود که میتوان از آنها عکس برداری نمود. مزیت **Bubble chamber** ها بر اتاقک ابری ویلسن در این است که اینجا چون ملکولهای مایع خیلی بهم نزدیک هستند شانس برخورد ذرات بملکولها و تولید یون بیشتر است.

## مسائل

(فرض کنید همه گازها کامل هستند)

- ۱۸-۱ ظرفی دارای  $1/5 \text{ ft}^3$  ازت با فشار مطلق  $20 \text{ lb/in}^2$  و دمای  $40^\circ \text{ F}$  است. هر گاه حجم ازت را به  $15 \text{ ft}^3$  و دمای آنرا به  $440^\circ \text{ F}$  برسانیم فشار آن چه اندازه میشود؟
- ۱۸-۲ ظرفی به حجم  $2 \text{ ft}^3$  با اکسیژن، بفشار مانومتر  $60 \text{ lb/in}^2$  و دمای  $47^\circ \text{ C}$  پر است کمی بعد، قسمتی از گاز آن خارج شده فشار آن به  $50 \text{ lb/in}^2$  و دمای آن به  $27^\circ \text{ C}$  میرسد. (a) جرم اکسیژن اولیه و (b) جرم اکسیژن خارج شده را بدست آورید.
- ۱۸-۳ حجم ظرف شیرداری دولیتر است و با اکسیژن بدمای  $300^\circ \text{ K}$  و فشار جو پر است. در حالیکه شیر باز است، ظرف را تا  $400^\circ \text{ K}$  گرم میکنیم و سپس شیر را می بندیم و آنرا تا دمای قبل سرد میکنیم. (a) فشار اکسیژن را در حالت اخیر بدست آورید. (b) چند گرم اکسیژن از ظرف خارج شده است؟
- ۱۸-۴ یک بالن به حجم  $20000 \text{ ft}^3$  از هیدروژن با فشار جو پر است. (a) هر گاه هیدروژن در کپسول هائی به حجم  $2 \text{ ft}^3$  با فشار مطلق  $200 \text{ lb/in}^2$  ذخیره شده باشد چند کپسول برای پر کردن بالن لازم است؟ (b) چند کیلو گرم بار را میتوان باین بالن که در نقطه ستاندارد قرار دارد آویزان نمود. (در شرایط متعارفی). (c) هر گاه بجای هیدروژن، هلیوم در بالن باشد چه باری را میتوان بآن آویخت.
- ۱۸-۵ فرمولی برای توده ویژه گاز کامل، بر حسب فشار، دما و مقادیر ثابت بدست آورید.
- ۱۸-۶ در ابتدای مرحله تراکم،  $48 \text{ in}^3$  هوا با فشار جو و دمای  $27^\circ \text{ C}$  در سیلندر موتور دیزلی وارد میشود. در انتهای مرحله تراکم، حجم هوا به  $3 \text{ in}^3$  و فشار آن به  $600 \text{ lb/in}^2$  (مانومتر) میشود. دمای آنرا پیدا کنید
- ۱۸-۷ حبابی از هوا از عمق آب، در جائیکه فشار  $3/0.3$  اتمسفر است بسطح آب که فشار  $1 \text{ atm}$  است میآید. دما در عمق و در سطح آب بترتیب  $7^\circ \text{ C}$  و  $27^\circ \text{ C}$  است. نسبت حجم حباب را در دو حالت ابتدائی و انتهائی، بدست آورید. دمای حباب در هر حال با دمای آب یکی است.
- ۱۸-۸ یک لیتر هلیوم با فشار دو اتمسفر و دمای  $27^\circ \text{ C}$  را آنقدر گرم میکنیم تا حجم و فشار آن، هر یک، دو برابر شود. دمای ثانوی آن چقدر است؟

۹-۱۸ ظرفی محتوی یک گرم اکسیژن با فشار مطلق  $۱۰ \text{ atm}$  و دمای  $۴۷^\circ \text{C}$  است.

پس از زمانی، قسمتی از اکسیژن از ظرف خارج شده فشار آن به  $\frac{5}{8}$  فشار اولیه و حجم دمای آن به  $۲۷^\circ \text{C}$  کاهش مییابد. (a) حجم ظرف و (b) مقدار اکسیژن خارج شده از ظرف را حساب کنید.

۱۰-۱۸ زیر دریائی Squalus در عمق  $۲۴۰ \text{ ft}$  زیر آب غرق شد. دما در سطح و

در عمق آب بترتیب  $۲۷^\circ \text{C}$  و  $۷^\circ \text{C}$  بوده است توده ویژه آب  $۶۲ \text{ lugs/ft}^3$  است. (a) هر گاه ظرف استوانه‌ای با ارتفاع  $۸ \text{ ft}$  را که دهانه با آن پایین است، تا این عمق، در آب فروبریم؛ سطح آب درون آن چقدر بالا می‌رود؟ (b) هوا با چه فشار مانومتری وارد ظرف شود تا در عمق مذکور، آب وارد ظرف نشود؟

۱۱-۱۹ تلمبه دو چرخه‌ای از هوا با فشار

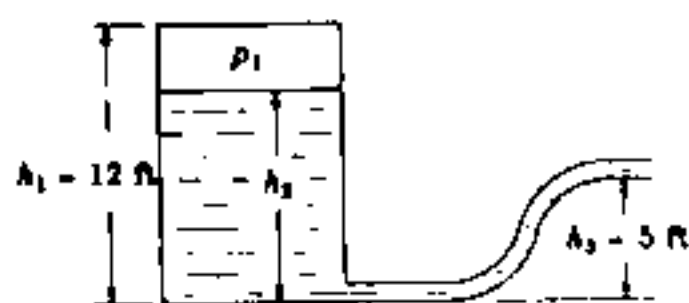
$۱۵ \text{ lb/in}^2$  پر است. طول جابجائی آن  $۱۸ \text{ in}$

است هر گاه فشار هوای درون لاستیک برابر

$۴ \text{ lb/in}^2$  باشد در چه فاصله‌ای هوا شروع به

وارد شدن بدرون لاستیک میکند. تراکم را

ایزوترم فرض کنید.



شکل ۱۸-۱۴

۱۲-۱۸ ظرف استوانه‌ای با ارتفاع یک متر بطور قائم قرار دارد و پیستن بدون اصطکاک

بیوزن و آب بندی شده‌ای بر دهانه بالائی آن قرار گرفته است. هر گاه هوای درون ظرف در

دمای ثابت نگاه داشته شود؛ حداکثر تا چه ارتفاعی میتوان جیوه بر روی پیستن ریخت بدون اینکه بخارج بریزد.

۱۳-۱۸ طول لوله بارومتری  $۹۰ \text{ m}$  و سطح مقطع آن  $۱/۵ \text{ cm}^2$  است. ارتفاع جیوه

در این بارومتر  $۷۰ \text{ cm}$  میشود. جرم ازت را حساب کنید.

۱۴-۱۸ مطابق شکل ۱۴-۱۸ لوله‌ای به ظرف بزرگ محتوی آبی وصل است. دهانه

بالائی ظرف بسته و هوای فشرده بر روی آب قرار دارد. وقتی  $h_1$  ارتفاع آب  $۱۰$  فوت

است فشار مانومتری هوای بالای آب  $p_1 = \frac{۱۵ \text{ lb}}{\text{in}^2}$  است. وزن مخصوص آب را  $۶۴ \text{ lb/ft}^3$

و انبساط هوای بالای آب را ایزوترم فرض کنید. (a) وقتی  $h_1 = ۱۰ \text{ ft}$  سرعت خروج

آب از لوله چه اندازه است؟ (b) وقتی  $h_1 = ۸ \text{ ft}$  تقلیل یابد سرعت مذکور چقدر است

اصطکاک ناچیز است.

۱۵-۱۸ حجم گاز کامل  $۴$  لیتر، فشار آن  $۲ \text{ atm}$  و دمای آن  $۳۰۰^\circ \text{K}$  است. ابتدا

گاز را در فشار ثابت انبساط داده حجم آنرا دو برابر میکنیم. سپس آنرا بطریق ایزوترم

متراکم کرده به حجم اولیه میرسانیم. (a) منحنی این تحولات را در صفحه  $pV$  رسم کنید، (b) دمای تحول ایزوترم چه اندازه بوده است؟ (c) حداکثر فشار چقدر است.

۱۶-۱۸ در ابتدای مرحله تراکم، هوای درون سیلندر موتور دیزلی  $48 \text{ in}^3$  فشار آن فشار جو و دمای آن  $27^\circ\text{C}$  است. در انتهای این مرحله، حجم هوا به  $3 \text{ in}^3$  و فشار مانومتر به  $600 \text{ lb/in}^2$  میرسد. دمای هوا را (a) بر حسب درجه کلوین، (b) بر حسب درجه سلزیوس و (c) بر حسب درجه فارنهایت بدست آورید.

۱۷-۱۸ در پائین ترین قسمت جو (تروپوسفر) دما ثابت نیست و با افزایش ارتفاع کاهش مییابد. نشان دهید که تغییرات دما را میتوان با تابع خطی زیر نشان داد:

$$T = T_0 - \alpha y$$

در این فرمول  $T_0$  دمای مطلق در سطح زمین و  $T$  دما در ارتفاع  $y$  است. فشار از رابطه زیر بدست میآید:

$$\ln \frac{p_0}{p} = \frac{Mg}{R\alpha} \ln \frac{T_0}{T_0 - \alpha y}$$

$\alpha$  را ضریب کاهش دما یا «lapse rate of temperature» مینامند که بر حسب شرایط جوی تغییر میکند. اندازه متوسط آن  $0.6^\circ\text{C}/100 \text{ m}$  است.

۱۸-۱۸ دو منحنی برای جسم حقیقی رسم کنید که در یکی فشار بصورت تابعی از حجم و در دیگری فشار بصورت تابعی از دما نشان داده شده باشد. مناطقی از منحنی را مشخص کنید که در آن (a) جسم بخار یا گاز، (b) مایع و یا (c) جامد باشد. نقطه سه گانه و بحرانی را مشخص کند.

۱۹-۱۸ مقداری مایع را در لوله ی شیشه ای وارد کرده هوای آنرا تخلیه نموده آنرا می بندیم. تغییراتی را که در شکل سطح بالائی مایع با افزایش دما بوجود میآید مورد بحث قرار دهید. فرض آنکه (a) حجم لوله از حجم بحرانی خیلی بیشتر باشد، (b) حجم لوله از حجم بحرانی کمتر باشد. (c) حجم لوله تقریباً برابر حجم بحرانی باشد.

۲۰-۱۸ قطعه ای یخ  $0^\circ\text{C}$  در ظرفی از آب صفر درجه زیر سرپوشی قرار دارد که هوای آنرا تخلیه کرده اند. هر گاه یخ و آب و سرپوش را با ترموستات مناسبی در دمای  $0^\circ\text{C}$  نگاهداریم در وضع تعادل در زیرپوش بحث کنید.

۲۱-۱۸ جسم حالی بجرم  $m$  در لوله ای به حجم  $V$  قرار دارد. هر گاه دو حالت فیزیکی جسم بحال تعادل در مجاور هم باشند نشان دهید که:

$$V_1 = \frac{m_1 - \rho_2 V_2}{\rho_1 - \rho_2}$$

که در آن  $p_1$  و  $V_1$  و  $p_2$  و  $V_2$  بترتیب، توده ویژه و حجم هر یک از دو حالت فیزیکی جسم است. (b) هر گاه  $V_1$  با افزایش دما تغییر نکند شرط زیر برقرار است:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{dp_2/dT}{dp_1/dT}$$

۱۸-۲۲ (a) رطوبت نسبی را در روزیکه دما  $68^\circ F$  و نقطه شبنم  $41^\circ F$  است حساب

کنید. (b) فشار جزئی بخار آب و (c) رطوبت مطلق را به  $\frac{gm}{m^3}$  بدست آورید.

۱۸-۲۳ دمای اتاقی  $40^\circ C$  است ظرفی را بکمک آب یخ سرد میکنیم. در دمای  $10^\circ C$

سطح آن مات میشود. رطوبت نسبی هوا چه اندازه است؟

۱۸-۲۴ درون اتاقی بحجم  $60 m^3$  که باخارج مربوط نیست و دمای آن  $27^\circ C$

است، ظرف آبی قرار دارد. (a) پس از حصول تعادل رطوبت مطلق را بر حسب  $\frac{gm}{m^3}$  حساب

کنید. (b) هر گاه دمای اتاق را  $1^\circ C$  گرمتر کنند چند گرم آب، بخار میشود؟

۱۸-۲۵ (a) هر گاه دمای هوا  $20^\circ C$  و رطوبت نسبی  $60\%$  باشد نقطه شبنم را پیدا کنید. b.

رطوبت مطلق را بر حسب  $\frac{gm}{m^3}$  بدست آورید.

۱۸-۲۶ حجم اتاقی  $60 m^3$  و ارتباط آن باخارج قطع شده است. دمای آنرا در  $20^\circ C$

تثبیت میکنیم. رطوبت نسبی در اتاق  $10\%$  است هر گاه ظرف آبی را وارد این اتاق کنیم

چند گرم آن بخار میشود؟

۱۸-۲۷ دستگاه تهویه مطبوعی میخواهد در هر ثانیه، رطوبت نسبی  $10 ft^3$  هوا را

از  $30\%$  به  $65\%$  برساند. دمای هوا  $68^\circ F$  است. مقدار آب مصرفی دستگاه در هر ساعت

چند پوند است.

## فصل نوزدهم

### قوانین ترمودینامیک

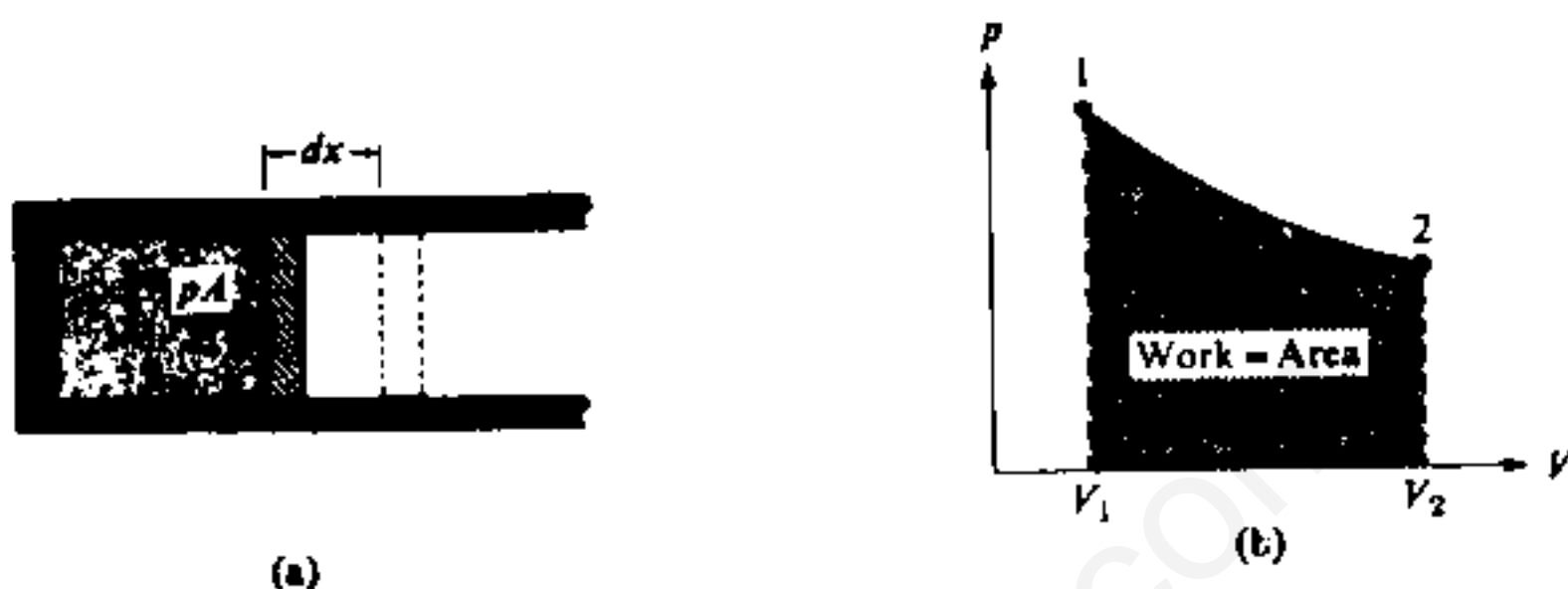
#### ۱-۱۹ ، کار در ترمودینامیک

وقتی درباره تعادل یکدستگاه در مکانیک، یا درباره حرکت شتابدار آن بحث میکنیم، لازم است برآیند نیروهای وارد بر جسم معلوم باشد زیرا در حال تعادل، این برآیند برابر صفر و در حال حرکت شتابدار، اندازه آن برابر  $m\gamma$  خواهد بود (اصل اول و دوم نیوتون). حاصلضرب جابجائی جزئی ( $ds$ ) و مؤلفه  $F$  برآیند نیروها در امتداد این جابجائی ( $F_s$ ) را کار انجام شده توسط نیروی مذکور مینامیم. هر گاه  $F_s$  و  $ds$  هم جهت باشند کار مثبت است. در اینحال، انرژی دستگاه افزایش یافته و گوئیم «بر روی دستگاه، کار انجام شده است». برعکس، هر گاه  $F_s$  و  $ds$  مختلفالجهت باشند انرژی دستگاه کاهش یافته کار منفی است و گوئیم «کار، توسط دستگاه انجام شده است».

ما در این فصل، بحث خود را به اصولی که پایه ترمودینامیک هستند اختصاص داده‌ایم، ترمودینامیک، رشته‌ای از فیزیک است که اساس ساختمان ماشین‌های گرمائی را، که کار انجام میدهند، مورد بحث قرار میدهد. یک موتور بنزینی بدین منظور ساخته میشود که اتومبیلی را بحرکت درآورد. یک توربین بخار برای برآورد انرژی در نیروگاه برق ساخته میشود. همه این دستگاه‌ها بر این اساس ساخته شده‌اند که در آنها «کار توسط دستگاه انجام شود». از اول در ترمودینامیک معمول شده است که این کار را مثبت فرض کنند (دستگاه‌های مکانیکی چون محرك خارجی دارند کار در پافتی‌شان مثبت است اما دستگاه‌های ترمودینامیکی چون خود محرك هستند کار را که برای خارج انجام میدهند مثبت است) اگر بخواهیم نحوه علامت گذاری در مکانیک و ترمودینامیک را باهم تلفیق دهیم. آنچه حائز اهمیت است و باید بآن توجه کنیم نیروهای وارد از دستگاه بخارج است. اگر مؤلفه این برآیند با تغییر مکان،



هم جهت باشند کار مثبت است و (۱) کار توسط دستگاه انجام میشود، (۲) انرژی داخلی، بشرط آنکه دستگاه از طریق دیگری انرژی بدست نیاورد، کاهش مییابد.



شکل ۱۹-۱ (a) نیروئی که درحین انبساط بسیار کمی از دستگاه بخارج وارد میاید. (b) کار انجام شده برابر سطح زیر منحنی در دستگاه مشخصات  $p-v$  است.

پس بطور خلاصه :

- (a) باید نیروی وارده از دستگاه بخارج را حساب کرد.
- (b) جابجائی نقطه اثر بر آیند  $F$  را باید بدست آورد.
- (c) هرگاه  $F$  و  $ds$  هم جهت باشند کار مثبت است.
- (d) گوئیم کار مثبت، توسط دستگاه انجام میشود.
- (e) وقتی کار مثبت توسط دستگاه انجام شود انرژی دستگاه کاهش مییابد مگر اینکه انرژی از خارج و از طریق دیگری دریافت کند.

### ۱۹-۲، کار در تغییر حجم

فرض کنید جسم جامد یا سیالی درون سیلندری باشد و پیستن متحرکی روی جسم، قرار گرفته باشد [شکل ۱۹-۱ (a)] هرگاه سطح مقطع پیستن  $A$  و فشار وارده از جسم بر آن  $p$  فرض شود، نیروی وارد از جسم بر پیستن برابر است با  $pA$ . هرگاه پیستن باندازه  $dx$  جابجا شود کار انجام شده برابر :

$$dW = pA dx$$

است. اما :

$$A \cdot dx = dV$$

و  $dV$  تغییر حجم دستگاه است. لذا داریم:

$$dW = p dV \quad (1-19)$$

و در تغییر حجم محدود جسم در فاصله  $V_1$  تا  $V_2$  داریم:

$$W = \int_{V_1}^{V_2} p dV \quad (2-19)$$

این انتگرال را میتوان با روش رسم یکمک شکل ۱-۱۹ (b) نشان داد. کار انجام شده برابر سطح زیر منحنی  $pV$  است. هر گاه جسم از وضع (۱) بوضع (۲) منتقل شود یعنی انبساط یابد، کار انجام شده مثبت (سطح زیر منحنی نیز مثبت) و وقتی از وضع (۲) بوضع (۱) برگشته تراکم یابد کار منفی است. هر گاه فشار، در حین تغییر حجم جسم ثابت بماند فرمول بصورت زیر درمیآید:

$$W = p(V_2 - V_1) \quad (\text{فقط در فشار ثابت})$$

**مثال** - گاز کاملی با چشمه گرمایی بادمای ثابت مربوط و دریافت گرما از آن، بطور ایزوترم از حجم  $V_1$  تا  $V_2$  انبساط مییابد. کار انجام شده را حساب کنید از فرمول ۱۹-۲ نتیجه میشود:

$$W = \int_{V_1}^{V_2} p dV \quad \bullet$$

و در یک گاز کامل داریم:

$$p = \frac{nRT}{V}$$

چون  $n$  و  $R$  و  $T$  مقادیر ثابت اند:

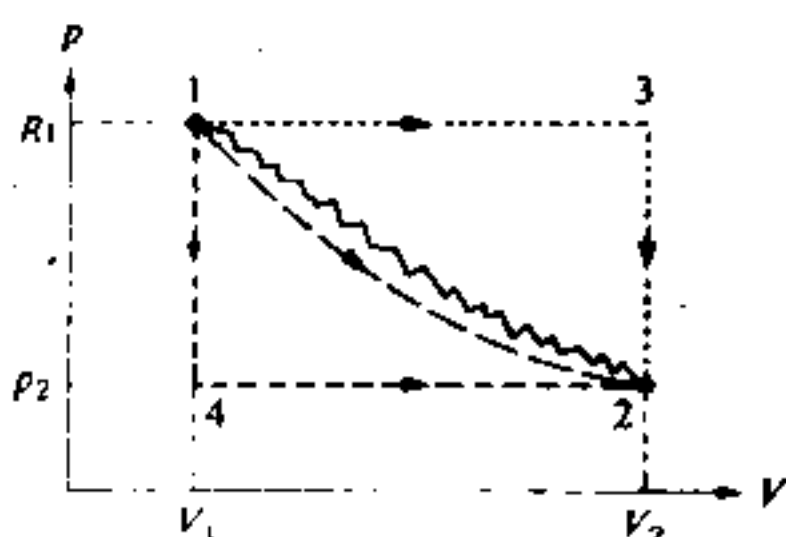
$$W = nRT \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = nRT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

در حین انبساط  $V_2 > V_1$  است و  $W$  نیز مثبت خواهد بود. دردمای ثابت داریم:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \quad \text{و یا} \quad \frac{V_2}{V_1} = \frac{p_1}{p_2}$$

بنابراین کار در تحول ایزوترم از فرمول زیر بدست میاید .

$$W = nRT \ln \frac{p_1}{p_2}$$



شکل ۱۹-۲ اندازه کار تابع مسیر است .

در شکل ۱۹-۲ وضع (۱) با فشار

$p_1$  و حجم  $V_1$  و وضع ۲ با فشار  $p_2$  و حجم  $V_2$  در صفحه  $pV$  با دو نقطه ۱ و ۲ مشخص شده است. طریق بیشماری وجود دارد که جسم از هر یک از آنها میتوان از وضع ۲ منتقل نمود.

مثلا ممکن است جسم را در فشار ثابت از وضع ۱ بر وضع ۳ رسانیده سپس در

حجم ثابت آنرا بوضع ۲ برسانیم . در اینحال کار انجام شده برابر سطح زیر خط مستقیم ۱-۳ است . راه دیگر این است که جسم را از طریق ۱-۴-۲ منتقل کنیم . در اینحال کار انجام شده برابر سطح زیر خط مستقیم ۱-۴-۲ است . منحنی خط چین نیز دوراه انتقال از وضع (۱) بوضع ۲ را نشان میدهد . کار انجام شده در هر یک از تحولات مذکور با دیگری تفاوت دارد . باین ترتیب میتوان دریافت که کار انجام شده تنها تابع دو وضع ابتدائی و انتهائی نیست بلکه حالات حد وسط یا عبارت دیگر مسیر تحول نیز در اندازه آن مؤثر است .

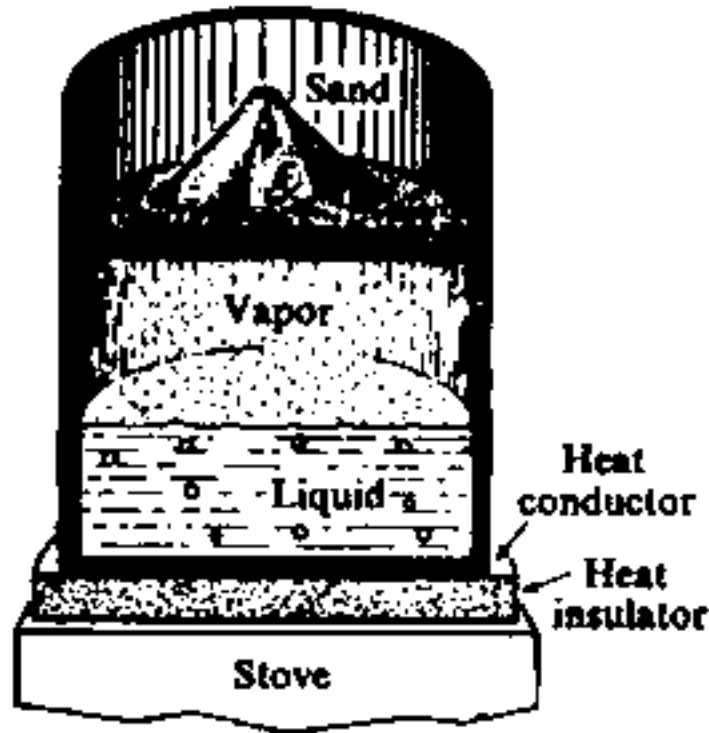
### ۱۹-۳، کار و گرما

در فصل شانزدهم دیدیم که گرما را میتوان با ایجاد اختلاف دمایین دو جسم از جسم گرم به جسم سرد منتقل نمود . وقتی مقداری گرما بجسمی داده میشود، علامت آنرا مثبت و وقتی از آن گرفته می شود منفی فرض میکنیم . از نقطه نظر ترمودینامیک ، کار و گرما روش انتقال انرژی است یعنی ، روشهایی که بکمک آنها میتوان انرژی دستگاهی را کم یا زیاد نمود .

تفاوت بین کار و انرژی را میتوان با دستگاهی نظیر دستگاه شکل ۱۹-۳ نشان داد . سیلندری با دیواره دیاترمیک (هادی گرما) که بر روی فرض آدیباتیک (عایق حرارت) قرار گرفته و این قرص نیز بنوبه خود بر روی کوره گرمی قرار دارد . درون سیلندر مایعی با بخار در مجاور یکدیگر قرار دارند (که سردتر از کوره هستند) . مقداری شش بر روی پیستن قرار

دارد و مجموعه پیستن و شن بحال سکون هستند. هر گاه قسمتی از شن برداشته شود پیستن

کمی بالا میاید. دستگاه کار مثبت انجام داده و انرژی آن کم شده ولی گرمایی منتقل نشده است. حال اگر قرص عایق را برداشته ظرف سیلندری را مستقیماً روی بخاری قرار دهیم؛ چنانچه پیستن ساکن بماند مقدار مثبتی گرما از خارج وارد دستگاه شده است ولی دستگاه کاری انجام نداده است. انرژی آن نیز افزایش یافته است. اگر عاملی که مانع حرکت پیستن میشد از سر راه آن برداریم هر دو صورت انتقال انرژی در یک زمان اتفاق افتاده است.



شکل ۱۹ - ۳ دستگاهی برای نشان دادن در صورت انتقال انرژی یعنی کار و گرما

اما مقدار گرمایی که در مواقع بالا رفتن

پیستن منتقل شده بیش از مقدار گرمایی است که در حجم ثابت منتقل شده است یعنی نه تنها کار، تابع مسبر است بلکه گرما نیز تابع مسیر تحول خواهد بود.

هر گاه درباره «کار موجود درون یک دستگاه» یا «گرمای موجود درون یک دستگاه» صحبت کنیم مرتکب اشتباه بزرگی شده ایم. فرض کنیم «مقدار گرمایی موجود درون یک دستگاه» را نسبت به وضع معینی (دما، فشار و حجم) سنجیده ایم و مقدار عددی مشخصی بآن نسبت داده ایم. هر گاه دستگاه را از این وضع بوضع دیگری منتقل کنیم «گرمای درونی دستگاه» نسبت بوضع دوم برابر است با «گرمای درونی» آن نسبت بوضع اول، با اضافه گرمایی که در انتقال از وضع اول بوضع دوم دریافت کرده است. اما گرمای منتقله از وضع اول بوضع دوم تابع مسیر تحول است و بینهایت مقدار مختلف را میتواند داشته باشد پس «گرمای موجود در جسم» در وضع دوم دارای مقدار مشخصی نمیتواند باشد. و بحث از آن اشتباه محض است.

### ۱۹-۴، اصل اول ترمودینامیک

انجام کار توسط یک دستگاه، و انتقال گرما، دو وسیله کاهش یا افزایش انرژی بدستگاه هستند. در حقیقت میتوان کار و گرما را عامل انتقال انرژی یا صورت متحرک انرژی دانست. فرض کنیم انتقال انرژی صورت گرفت و سپس این انتقال، متوقف شد. میتوانیم بگوئیم ابتدا، انرژی داخلی دستگاه تغییر کرد و سپس تغییر آن متوقف شد.

فرض کنیم دستگاهی در امتداد مسیر معین از وضع (۱) بوضع (۲) منتقل شود و در این

انتقال  $Q$  گرمای دریافتی و  $W$  کار انجام شده توسط دستگاه باشد.  $Q$  و  $W$  را با واحدهای یکسان می‌سنجیم بنا بر این میتوان تفاضل  $Q - W$  را اندازه گرفت. این تفاضل را برای مسیرهای مختلف واقع بین دو وضع (۱) و (۲) اندازه می‌گیریم می‌بینیم که مقدار این تفاضل، برای کلیه مسیرها یکسان است اما  $Q$  افزایش انرژی دستگاه از طریق انتقال گرما و  $W$  مقدار انرژی خارج شده از دستگاه از طریق انجام کار است پس  $Q - W$  تغییر انرژی داخلی دستگاه است. یعنی نتیجه میشود که تغییر انرژی داخلی یک دستگاه مستقل از مسیر تحول و فقط ابتدائی و انتهائی است. بنابراین اگر انرژی داخلی دستگاه را در وضع (۱) با  $U_1$  و در وضع (۲) با  $U_2$  نمایش دهیم، انرژی داخلی دستگاه برابر  $U_2 - U_1$  است یعنی داریم:

$$U_2 - U_1 = Q - W$$

هر گاه در وضع خاصی با انرژی داخلی یک دستگاه عددی نسبت دهیم در هر وضع دیگر فقط یک مقدار برای انرژی داخلی آن وجود خواهد داشت. زیرا  $Q - W$  برای تمام مسیرهای واقع بین دو وضع مقدار است ثابت.

میتوان رابطه جبری زیر را نوشت: این رابطه بیان ریاضی واقعیت فوق‌الذکر است.

$$\boxed{Q = U_2 - U_1 + W} \quad (۱۹-۳)$$

فرمول فوق بیان ریاضی اصل اول ترمودینامیک است. برای استفاده از فرمول فوق باید (۱) تمام کمیت‌ها را بر حسب واحد یکسانی سنجید. (۲)  $Q$  وقتی گرما وارد جسم میشود مثبت است. (۳)  $W$  وقتی مثبت است که کار، توسط دستگاه انجام شود در اینحال تغییر مکان و نیرو هم جهت هستند.

از نقطه نظر ترمودینامیک، لازم نیست انرژی داخلی یک جسم را به انرژی جنبشی ملکولی نسبت داد. فرمول ۱۹-۳ در حقیقت تعریف انرژی داخلی یا بهتر بگوئیم تعریف تغییر انرژی داخلی است. در اینجا نیز مانند سایر انواع انرژی، آنچه مهم است تغییر انرژی است نه قدر مطلق آن. هر گاه دستگاهی پس از تحول‌هایی بوضع اول برگردد (تحول دوره‌ای یا مسدود) در اینصورت داریم:

$$U_2 = U_1 \quad \text{و} \quad Q = W$$

با وجود اینکه  $W$  کاری است که جسم انجام داده است، انرژی بخودی خود نیامده و همین مقدار انرژی از طریق انتقال گرمای  $Q$  وارد جسم شده است.

دستگاهی را منفرد مینامند که برای محیط خارج کاری انجام ندهد و گرمائی نیز از خارج دریافت نکند. هر تحولی در چنین دستگاهی اتفاق افتد بازم  $W = Q = 0$  است. در نتیجه  $U_2 - U_1 = 0$  و  $\Delta U = 0$  یعنی انرژی داخلی دستگاه منفرد، ثابت میماند. هیچ نوع تحولی (مکانیکی، الکتریکی، شیمیائی، هسته‌ای و یا بیولوژی) نمیتواند انرژی داخلی دستگاه منفرد را تغییر دهد. انرژی داخلی یک جسم فقط وقتی تغییر میکند که با خارج مبادله کار یا گرما کند. (هرگاه این مبادلات صورت گرفت، دستگاه دیگر منفرد نیست.) بنابراین افزایش انرژی داخلی یک دستگاه برابر است با انرژی که دستگاه بصورت گرما از خارج گرفته، منهای انرژی که بخارج داده است.

### ۱۹-۵، تحول آدیباتیک

هر گاه در دستگاهی تحولی صورت گیرد که در آن گرما از خارج بدستگاه داده نشده یا از آن گرفته نشود، تحولی را آدیباتیک مینامند. انجام تحول آدیباتیک بدو صورت امکان پذیر است. نخست آنکه دستگاه را با دیواره کاملاً عایقی بپوشانند (مثلاً آسبست، چوب پنبه، آجر نسوز و یا اجسام بشکلخل و سبک دیگر) دیگر آنکه تحول، تا حد ممکن بسرعت انجام شود. زیرا انتقال گرما همیشه بکندی صورت می‌پذیرد بنابراین هر تحولی که سریع انجام شود مبادله گرما در آن ناچیز و قابل اغماض است و عملاً میتوان آنرا آدیباتیک فرض نمود. با استفاده از اصل اول در تحول آدیباتیک میتوان نوشت:

$$U_2 - U_1 = -W \quad (\text{تحول آدیباتیک})$$

تغییر انرژی داخلی دستگاه در تحول آدیباتیک برابر قدر مطلق کار انجام شده است. هر گاه  $W$  منفی باشد (مثلاً در تراکم) در این صورت  $-W$  مثبت است و  $U_2$  بزرگتر از  $U_1$  است یعنی انرژی داخلی دستگاه افزایش مییابد. هر گاه  $W$  مثبت باشد (در انبساط) انرژی داخلی دستگاه کاهش مییابد. وقتی انرژی داخلی دستگاهی افزایش یابد دمای آن نیز افزایش یافته وقتی انرژی داخلی کاهش یابد دما نیز کاهش مییابد، تراکم مخلوط هوا سوخت که در موتورهای بنزینی انجام میشود تقریباً تحولی آدیباتیک است و دما در حین تراکم مذکور افزایش مییابد. انبساط در همین موتورها هنگام انفجار مخلوط سوخت و هوا نیز تحولی تقریباً آدیباتیک است که در حین انجام آن، دما کاهش مییابد. بنابراین در ساختمان ماشین‌های گرمائی، تحول آدیباتیک دارای اهمیت خاصی است.