

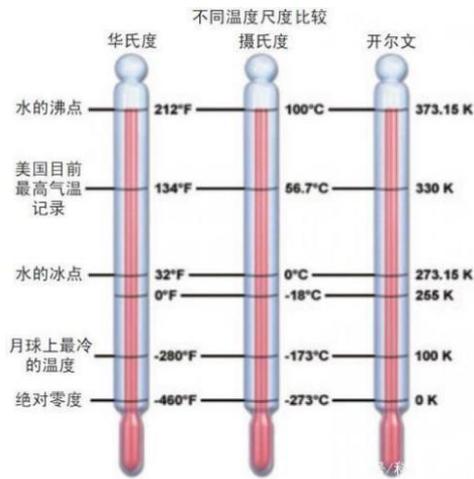
## 第十五章：气体定律

### 15.1 气体的状态参量

1. 温度、体积和压强常用来描述一定质量的气体热运动的宏观状态。这三个物理量称为气体的状态参量。

#### 气体的温度

1. \_\_\_\_\_ 是表示物体 \_\_\_\_\_ 的物理量。
2. \_\_\_\_\_ 用符号 \_\_\_\_\_ 表示，单位为 \_\_\_\_\_，符号为 \_\_\_\_\_。
3. 国际单位制中气体的温度采用凯氏温度量度（热力学温度）。凯氏温标用符号 \_\_\_\_\_ 表示，单位为 \_\_\_\_\_，符号为 \_\_\_\_\_。



4. 凯氏温标与摄氏温标的关系为 \_\_\_\_\_
5. 凯氏温度和摄氏温度表示温度的间隔是相同的，所以热力学温差等于摄氏温差。

#### 气体的体积

1. 气体的体积指的是气体分子所充满的空间的体积，即为 \_\_\_\_\_。

2. \_\_\_\_\_ 用符号 \_\_\_\_\_ 表示，单位用 \_\_\_\_\_，符号用 \_\_\_\_\_。
3. 在日常生活中，常用 \_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、或 \_\_\_\_\_ 作为单位。它们之间的换算关系是 \_\_\_\_\_。

#### 气体的压强

1. 气体压强是气体分子频繁撞击器壁而产生的。
2. 气体的压强指的是气体分子作用在器壁单位面积上的压力。
3. \_\_\_\_\_ 用符号 \_\_\_\_\_ 表示，单位为 \_\_\_\_\_，符号为 \_\_\_\_\_。
4. 常用的气体压强单位有标准大气压 (atm)，毫米水银柱 (mmHg)。它们之间的换算关系为  $1\text{atm} = 760\text{mmHg} = 101.3\text{Pa}$ 。
5. 在生活中，我们可以用金属压强计测量密封气体的压强，也可以利用 \_\_\_\_\_，求密封气体的压强。

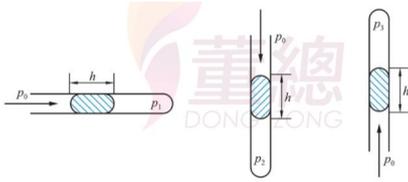
a)

\_\_\_\_\_ 水银处于静止状态，容器内气体对水银的压力和大气作用在水银的压力平衡，因受力面积相同，所以容器内气体的压强  $P_1$  等于大气压强  $P_{atm}$ 。

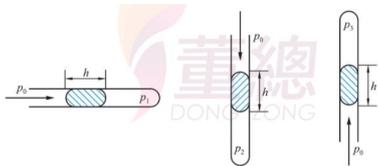
b)

\_\_\_\_\_ 水银处于静止状态，气体的压强  $P_2$  等于大气压强  $P_{atm}$  加上这一小段水银柱产生的压强  $P_h$ 。

- c) \_\_\_\_\_  
 水银处于静止状态，气体的压强  $P_3$  等于大气压强  $P_{atm}$  减去这一小段水银柱产生的压强  $P_h$ 。

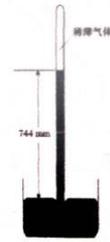


例子:

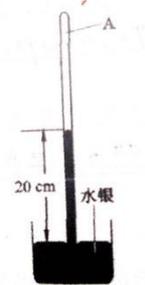


1. 水银柱的长度为 20cm，大气压为 76cmHg。玻璃管水平、开口向上、开口向下放置时，被封闭的气体的压强分别等于多少厘米水银柱？多少帕斯卡？  
 (水银密度为  $13600\text{kgm}^{-3}$ )  
 [76cmHg/101.3kPa; 96cmHg/127.9kPa; 56cmHg/74.6kPa]

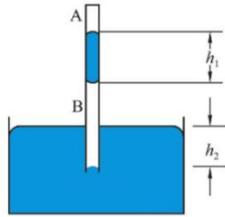
2. 水银柱的长度为 9cm，大气压为 76cmHg。玻璃管水平、开口向上、开口向下放置时，被封闭的气体的压强分别等于多少厘米水银柱？多少帕斯卡？  
 (水银密度为  $13600\text{kgm}^{-3}$ )  
 [76cmHg/101.3kPa; 85cmHg/113.3kPa; 67cmHg/89.3kPa]



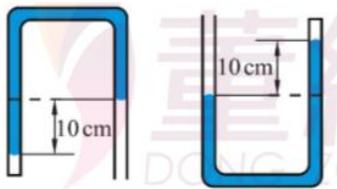
3. 在标准大气压下做托里拆利实验时，由于管中混入少量空气，水银柱上方是稀薄气体，稀薄气体的压强等于多少？ [1.6cmHg]  
 (水银密度为  $13600\text{kgm}^{-3}$ )



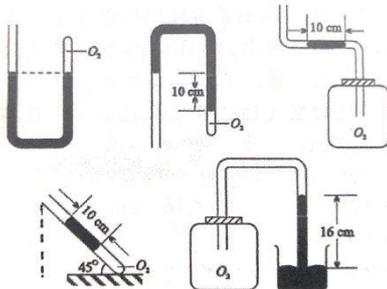
4. 如图所示，被封闭的气体 A 的压强是多少帕斯卡？设大气压强是  $1.01 \times 10^5\text{Pa}$ 。  
 (水银密度为  $13600\text{kgm}^{-3}$ )



5. 如图所示，上端封闭的细玻璃管竖直插在水银槽中，管内有两端空气柱 A 和 B，已知大气压强为 75cmHg，，，则空气柱 A 的压强为 \_\_\_\_\_ cmHg，空气柱 B 的压强为 \_\_\_\_\_ cmHg。 [70; 90]



6. 如图所示的两种情况中，被封闭的气体的压强分别是多少厘米水银柱？ [86cmHg; 66cmHg] (大气压强=76cmHg)



7. 计算出图中所示各种情况下用水银封闭在玻璃容器中的氧气压强。已知大气压强等于 76cmHg。 [76cmHg; 86cmHg; 76cmHg; 83.1cmHg; 60cmHg]

### 气体状态的改变

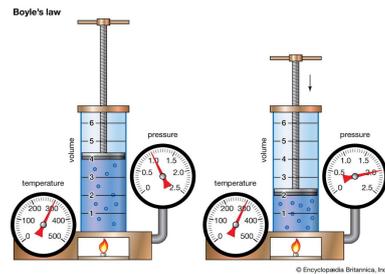
1. 一定质量的气体发生状态变化时，至少有两个状态参量发生变化，不可能只有一个状态参量变化而其他两个状态参量不变。

### 15.2 等温变化 (波意耳定律)

1. 温度、体积、压强这三个气体状态参量之间有着密切的联系，要研究它们的关系，就要用控制变量法。
2. 首先分别保持一定质量气体的温度、体积或压强，研究其他两个物理量之间的变化关系，然后确定三个参量的变化规律。

### 等温变化

1. \_\_\_\_\_ 是指气体在 \_\_\_\_\_ 下发生的状态变化。



### 波意耳定律

项目	波意耳定律
内容	一定质量的某种气体，在温度不变的情况下，压强和体积成反比。
公式	$P_1V_1 = P_2V_2$ 或 $PV = k$ $P$ = 气体压强 $V$ = 气体体积 $k$ = 常量
单位	等式两边的 $P$ 和 $V$ 单位必须统一

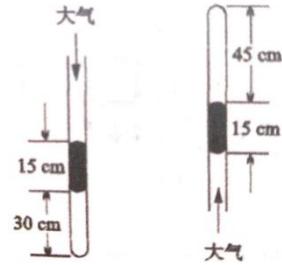
例子:

1. 一定质量的某种气体, 当其体积为  $20\text{cm}^3$  时, 压强为  $1 \times 10^5\text{Pa}$ ; 当其发生等温变化, 体积减小到  $16\text{cm}^3$  时, 压强为多大? [125kPa]

2. 某容器的容积是  $10\text{m}^3$ , 里面所盛的气体的压强为  $2 \times 10^5\text{Pa}$ 。保持温度不变, 把这些气体装在另一个容器里, 气体的压强变为  $1 \times 10^5\text{Pa}$ , 求这个容器的容积。  
[200m<sup>3</sup>]

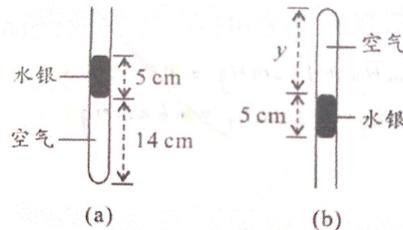
3. 一只汽车轮胎, 充足气时气体的体积是  $0.47\text{m}^3$ , 压强是  $3.5 \times 10^5\text{Pa}$ 。装在汽车上后, 受到车身的压力发生形变, 体积减少了  $0.05\text{m}^3$ 。求这时轮胎内气体的压强。  
[392kPa]  
(假定气体的温度保持不变)

4. 一个气泡由湖面下 20m 深处缓慢上升到湖面下 10m 深处, 它的体积约变为原来体积的多少倍?  
(大气压强为  $10\text{mH}_2\text{O}$ ) [1.5 倍]



5. 有一根细长玻璃管, 一端开口。用一段长 15cm 的水银柱将气体封闭在管内。当玻璃管的开口向上时, 管内的空气柱长 30cm; 当玻璃管的开口向下时管内空气柱长 45cm。  
a) 试求实验时的大气压强。 [75cmHg]  
b) 如果细玻璃管水平放置, 被水银封闭的空气柱的长度是多少?  
[63cm]

统考题:

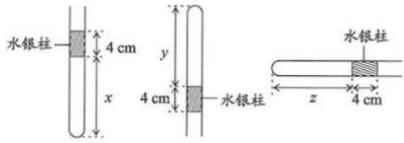


一少量的空气被长度为 5cm 的水银隔离在玻璃细管内。图 (a) 显示玻璃细管处于垂直位置, 其端口向上。图 (b) 显示相同的玻璃管处于垂直位置, 不过其端口向下。求图 (b) 所出现的空气柱的长度  $y$  (已知大气压强为 76cmHg)

- A. 5. 3cm
- B. 5. 7cm
- C. 14. 9cm
- D. 16. 0cm

2008 年

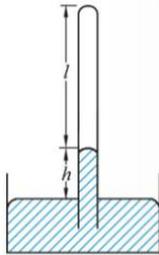
**统考题:**



如图所示，三个相同的毛细管内之空气柱被一段 4cm 长之水银柱封闭。试比较三段空气柱  $x$ ， $y$  及  $z$  的长度。

- A.  $x > y > z$     B.  $x > z > y$   
 C.  $y > z > x$     D.  $y > x > z$

2017 年



6. 如图所示，一端封闭的玻璃管开口向下插入水银槽内，管内水银柱比槽内水银面高  $h = 5\text{cm}$ ，空气柱长  $l = 45\text{cm}$ ，要使管内外水银面相平，问

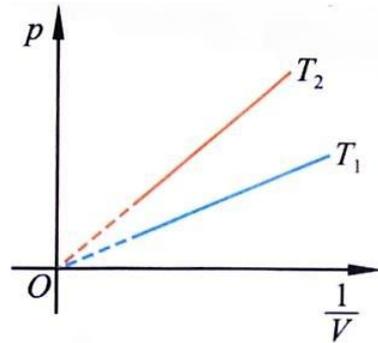
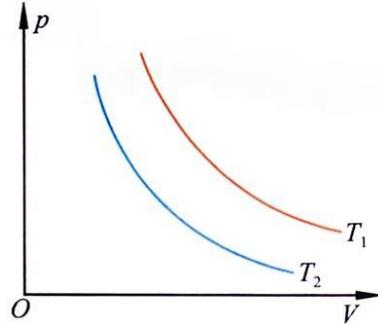
- a) 应如何移动玻璃管？  
 b) 此刻管内空气柱的长度为多少？（设此时的大气压为 75cmHg） [42cm]

**气体等温变化的图像**

1. 压强与体积是成反比关系，故  $P$ - $V$  图像为\_\_\_\_\_。在物理学中，把  $P$ - $V$  图像的这条双曲线图叫作

\_\_\_\_\_。（等温线离原点坐标越远，温度越高）

2. 压强与体积的倒数成正比关系，故\_\_\_\_\_图像为一条通过原点的\_\_\_\_\_。



**15.3 等容变化（压强定律）**

**等容变化**

1. \_\_\_\_\_是指气体在体积不变的情况下发生的状态变化。（斜率越大，温度越高）

**压强定律**

项目	压强定律
内容	一定质量的某种气体，在体积不变的情况下，压强和热力学温度成正比。
公式	$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$ 或 $\frac{P}{T} = k$ $P$ = 气体压强 $T$ = 气体温度 $k$ = 常量
单位	等式两边 $P$ 的单位必须统一；温度必须用热力学温度 (K)。

**例子:**

1. 民间常用“拔火罐”来治疗某些疾病，方法是将点燃的纸片放入一个小罐内，当纸片燃烧完时，迅速将火罐开口端紧压在皮肤上，火罐就会紧紧地被“吸”在皮肤上。其原因是，火罐内地气体\_\_\_\_\_。

- A. 温度不变时，体积减小，压强增大
- B. 体积不变时，温度降低，压强减小
- C. 压强不变时，温度降低，体积减小
- D. 质量不变时，压强增大，体积减小

2. 电灯泡内充有氦氖混合气体，如果要使电灯泡内的混合气体在500°C时候的压强不超过101.3kPa，那么在20°C的室温下充气，电灯泡内气体压强最多能充到多大？ [38.3kPa]

3. 一定质量的某种气体，在温度为20°C时，压强为 $10^5 Pa$ 。若保持其体积不变，温度上升到50°C，则它的压强是多大？ [110kPa]

4. 盛有氧气的钢瓶，在温度是17°C的室内测得氧气的压强是 $9.31 \times 10^5 Pa$ ；当钢瓶被搬到温度是-13°C的工地时，瓶内氧气的压强变为 $8.15 \times 10^5 Pa$ 。问：钢瓶是否漏气？为什么？ [835kPa, 漏气]

5. 在密封容器中装有某种气体，当温度从50°C升高到100°C时，气体的压强从 $P_1$ 变到 $P_2$ ，则 $\frac{P_1}{P_2}$ 的值是多少？  $[\frac{323}{373}]$

6. 密封容器内装有某种气体，当温度下降8°C时，气体的压强减少量是原来压强的 $\frac{1}{50}$ ，求气体最初的温度？ [400K]

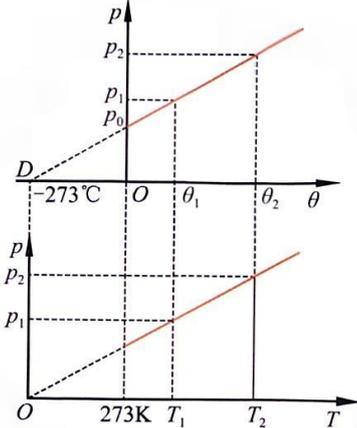
**统考题:**

一定质量的某种气体密闭在一个容器中。若温度升高5°C后，气体的压强增加量是原来压强的 $\frac{1}{100}$ ，求气体原来的温度。

2003 年

### 气体等容变化的图像

1. 压强与热力学温度是成正比关系，故 P-T 图像为一条通过原点的直线图。在物理学中，把 P-T 图像的一条直线图叫作\_\_\_\_\_。
2. P- $\theta$  则为一条通过  $-273^{\circ}\text{C}$  的直线图（斜率越大，体积越小）。



### 15.4 等压变化（查理定律）

#### 等压变化

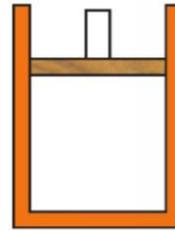
1. \_\_\_\_\_是指气体在压强不变的情况下发生的状态变化。

#### 查理定律

项目	查理定律
内容	一定质量的某种气体，在压强不变的情况下，体积和热力学温度成正比。
公式	$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$ 或 $\frac{V}{T} = k$ $V$ = 气体体积 $T$ = 气体温度 $k$ = 常量
单位	等式两边 $V$ 的单位必须统一；温度必须用热力学温度 (K)。

#### 例子：

1. 一定质量的气体在  $27^{\circ}\text{C}$  时体积为  $1 \times 10^{-2} \text{m}^3$ ，经过等压变化，当体积增大为  $1.5 \times 10^{-2} \text{m}^3$  时，它的温度升高到多少摄氏度？ [ $177^{\circ}\text{C}$ ]



2. 如图所示，上端开口的圆柱形气缸竖直放置，一定质量的气体被质量为  $2\text{kg}$  的光滑活塞封闭在气缸内。若从初温  $27^{\circ}\text{C}$  开始加热气体，使活塞离气缸底部的高度由  $0.50\text{m}$  缓慢地变为  $0.51\text{m}$ ，则此时气体的温度为多少摄氏度？ [ $33^{\circ}\text{C}$ ]

3. 一定质量的气体在  $52^{\circ}\text{C}$  时的体积为，如果要使它在压强不变的情况下体积减少到原来的五分之三，应该将它冷却到多少摄氏度？

[ $-78^{\circ}\text{C}$ ]

4. 一定质量的气体，在保持其压强不变时，它的体积变为  $0^{\circ}\text{C}$  时的 2 倍、 $\frac{1}{2}$  倍时，温度分别是多少摄氏度？

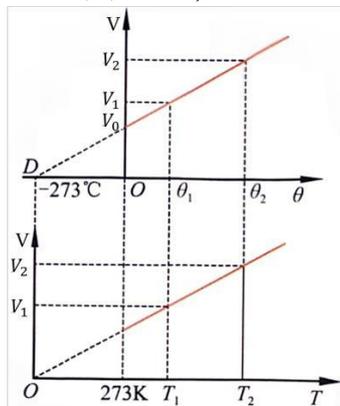
[ $273^{\circ}\text{C}$ ,  $-136.5^{\circ}\text{C}$ ]

5. 一个容器中装有某种气体，且容器上有一小孔跟大气相同，原来容器内气体的温度为  $27^{\circ}\text{C}$ 。如果把它加热到  $127^{\circ}\text{C}$ ，那么从容器中逸出的空气质量是原来质量的多少倍？  $[\frac{1}{3}]$

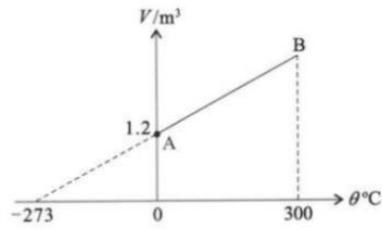
6. 房间里气温升高  $3^{\circ}\text{C}$  时，房间内的空气将有 1% 逸出到房间外，由此可计算出房间里原来的气温是 \_\_\_\_\_  $^{\circ}\text{C}$ 。  $[27^{\circ}\text{C}]$

**气体等压变化的图像**

1. 体积与热力学温度是成正比关系，故  $V-T$  图像为一条通过原点的直线图。在物理学中，把  $V-T$  图像这条直线图叫作 \_\_\_\_\_。
2.  $V-\theta$  图像则为一条通过  $-273^{\circ}\text{C}$  的直线图（斜率越大，压强越小）



**统考题:**



如图所示为某理想气体的状态变化过程。若气体在状态 A 时的体积为  $1.2\text{m}^3$ ，求气体在状态 B 时的体积。

2011 年

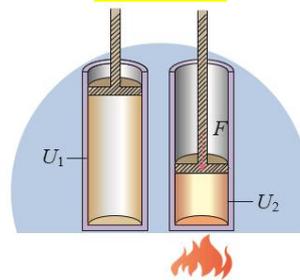
**气体膨胀做功**

1. 无摩擦滑动的活塞把一定质量的气体封闭在气缸中，气体等压膨胀并对外做功。

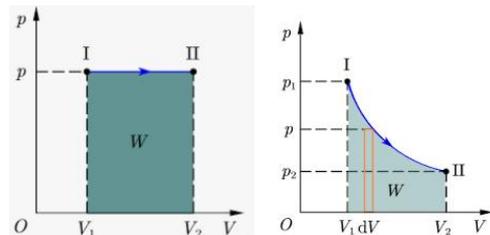
$$W = Fs$$

$$W = PAs$$

$$W = P\Delta V$$



2. 气体膨胀所做的功，也可通过  $P-V$  图像中求出。图像与横轴所夹的“\_\_\_\_\_”即为气体膨胀所做的功。



## 15.5 理想气体状态方程式

### 理想气体

1. 在任何温度和压强下，都严格遵守气体定律的气体叫\_\_\_\_\_。
2. 理想气体是一种理想花模型，是对实际气体的一种近似。理想气体忽略\_\_\_\_\_。
3. 在\_\_\_\_\_（不超过大气压的几倍），\_\_\_\_\_（不低于零下几十摄氏度）时，可以把实际气体近似地视为理想气体，

### 理想气体地状态方程式

1. 理想气体状态放出是描述理想气体在处于平衡态时，压强、体积、气体的量、温度间关系地状态方程。
2. 理想气体状态方程是建立在波意耳定律、压强定律、查理定律和阿伏伽德罗定律上。

项目	理想气体的状态方程式
公式	$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$ 或 $\frac{PV}{T} = k$ $P$ = 气体压强 $V$ = 气体体积 $T$ = 气体温度 $k$ = 常量
单位	等式两边的 $P$ 和 $V$ 单位必须统一；温度必须用热力学温度。

项目	理想气体的状态方程
公式	$PV = nRT$ 或 $PV = \frac{m}{M}RT$ $P$ = 气体压强 $V$ = 气体体积 $n$ = 气体的量 $T$ = 气体温度 $m$ = 气体质量 $R$ = 气体常量 $M$ = 气体的摩尔质量
单位	全部物理量都必须采用国际单位制。

### 例子:

1. 关于理想气体，下列说法正确的是（ ）
  - A. 理想气体不能严格地遵循气体实验定律
  - B. 实际气体在温度不太高、压强不太小地情况下，可看成理想气体
  - C. 实际气体在温度不太低，压强不太大的情况下，可看成理想气体
  - D. 所以的实际气体气体在任何情况下，都可以看作理想气体。
2. 在温度等于 323K、压强等于  $1 \times 10^5 Pa$  时，内燃机气缸里混合气体的体积是 0.93l。当活塞移动，混合气体被压缩为 0.155l 时，压强增大到  $1.2 \times 10^6 Pa$ 。求这时混合气体的热力温度。 [646K]
3. 体积为 20l 的氧气，在温度为 290K 时，压强为  $1 \times 10^7 Pa$ 。在标准状况下，这些氧气的体积是多大？ [1859l]

### 统考题:

在温度为  $69^\circ C$ ，压强 1.5atm 时，一样本氧气的体积为  $2.8 \times 10^{-3} m^3$ 。求氧气在温度  $0^\circ C$  及压强在 1atm 时的体积。（取  $1atm = 1.0 \times 10^5 Pa$ ）

- A.  $1.12 \times 10^{-3} m^3$     B.  $2.23 \times 10^{-3} m^3$   
 C.  $3.35 \times 10^{-3} m^3$     D.  $4.31 \times 10^{-3} m^3$

2007 年

4. 如果在  $P = 1 \times 10^5 \text{ Pa}$ 、 $T = 273 \text{ K}$  时某理想气体的密度为  $1.5 \text{ kgm}^{-3}$ ，那么在  $\theta = 27^\circ\text{C}$ 、 $P = 1 \times 10^6 \text{ Pa}$  时该气体的密度是多大？  
[13.65  $\text{kgm}^{-3}$ ]
5. 容器中盛有温度为  $300 \text{ K}$ ，压强为  $1 \times 10^6 \text{ Pa}$  的氧气，求该氧气的密度。  
[12.85  $\text{kgm}^{-3}$ ]  
(已知在标准状态下，氧气的密度为  $1.43 \text{ kgm}^{-3}$ )
6. 容器的体积为  $1.5 \text{ m}^3$ 、温度为  $300 \text{ K}$  时，容器内气体的压强为  $83 \text{ kPa}$ 。求容器内有多少摩尔数的气体分子。  
[49.9 mol]
7. 氢气球的体积为  $0.2 \text{ m}^3$ ，压强为  $101 \text{ kPa}$ ，温度为  $27^\circ\text{C}$  时，氢气球内有多少摩尔数的氢气？ [8.1 mol]
8. 容积为  $123 \text{ l}$  的容器内有温度为  $127^\circ\text{C}$ 、压强为  $2 \times 10^6 \text{ Pa}$  的氧气。求氧气的质量（氧气的摩尔质量为  $0.032 \text{ kgmol}^{-1}$ ）  
[2.37 kg]
9. 容积是  $10 \text{ l}$  的钢筒里盛有  $90 \text{ atm}$ 、 $-13^\circ\text{C}$  的氮气，求钢筒中氮气的质量。（氮气的摩尔质量为  $4 \times 10^{-3} \text{ kgmol}^{-1}$ ） [0.169 kg]
- 统考题：**  
一装满氧气的容器，容积为  $56.6 \text{ 公升}$ ，压强为  $1.37 \times 10^7 \text{ Pa}$ ，温度为  $27^\circ\text{C}$  时，容器内有多少公斤的氧气？  
(氧气的摩尔质量为  $32 \text{ kgmol}^{-1}$ )  
2009 年
10. 贮气瓶内有温度为  $27^\circ\text{C}$ ，压强为  $5 \text{ atm}$  的压缩气体。如果放出  $\frac{1}{2}$  的气体，使剩余气体的温度下降到  $2^\circ\text{C}$  时，瓶内气体的压强是多少？  
[2.29 atm]
11. 容积为  $30 \text{ l}$  的容器内装有氢气，在使用过程中温度已知保持在  $27^\circ\text{C}$ 。当容器的压强由  $4.9 \times 10^6 \text{ Pa}$  降为  $9.8 \times 10^5 \text{ Pa}$ ，容器内的氢气是原来的百分之多少？共用掉了百分之多少氢气？ [20%; 80%]