**第9章气体分子运动论 练习题含解答**

**9.4 练习题**

**一 、选择题**

1. 关于温度的意义，有下列几种说法：

(1) 气体的温度是分子平均平动动能的量度．

(2) 气体的温度是大量气体分子热运动的集体表现，具有统计意义．

(3) 温度的高低反映物质内部分子运动剧烈程度的不同．

(4) 从微观上看，气体的温度表示每个气体分子的冷热程度．

这些说法中正确的是

(A) (1)、(2)、(4)．

(B) (1)、(2)、(3)．

(C) (2)、(3)、(4)．

(D) (1)、(3)、(4)．

[ ]

<答案>(B)

2. 一容器内盛有1 mol氢气和1 mol氦气，经混合后，温度为 127℃，该混合气体分子的平均速率为

(A) ． (B) ．

(C) +． (D) ．

<答案>(C)

3. 温度、压强相同的氦气和氧气，它们分子的平均动能和平均平动动能有如下关系：

(A) 和都相等． (B) 相等，而不相等．

(C) 相等，而不相等． (D) 和都不相等．

[ ]

<答案>(C)

4. 在标准状态下，若氧气(视为刚性双原子分子的理想气体)和氦气的体积比

*V*1 / *V*2=1 / 2 ，则其内能之比*E*1 / *E*2为:

(A) 3 / 10． (B) 1 / 2．

(C) 5 / 6． (D) 5 / 3．

<答案>C

5.容器中有一定量的某种理想气体，温度为*T*，气体分子的质量为*m*。则分子速度在*x*方向分量平方的平均值为

(A)． (B) ．

(C) 5 / 6． (D) 5 / 3．

<答案>(A)

6.一个立方体容器中装有氦气，处于标准状态，设容器边长为10cm，则其一个器壁面（面积为100cm2）每秒受到的氦原子碰撞次数的数量级为

(A)10-20s-1． (B) 10-25s-1．

(C) 10-32s-1． (D) 10-38s-1．

<答案> (B)

7. 若*f*(*v*)表示分子速率的分布函数，则对下列四式叙述：

(1) *f*(*v*)d*v* 表示在*v*→*v*＋d*v*区间内的分子数．

(2)  表示在*v*1→*v*2速率区间内的分子数．

(3)  表示在整个速率范围内分子速率的总和．

(4)  表示在*v*0→∞速率区间内分子的平均速率.

上述对四式物理意义的叙述

(A) 正确的是(1). (B) 正确的是(2).

(C) 正确的是(3). (D) 正确的是(4). (E) 都不正确．

[ ]<答案>(E)

8. 设图示的两条曲线分别表示在相同温度下氧气和氢气分子的速率分布曲线；令和分别表示氧气和氢气的最概然速率，则

选择题9.8图



(A) 图中*a*表示氧气分子的速率分布曲线；

(B) 图中*a*表示氧气分子的速率分布曲线；

(C) 图中*b*表示氧气分子的速率分布曲线；

(D) 图中*b*表示氧气分子的速率分布曲线；

[ ]

<答案>(B)

9.在二氧化碳激光器中，作为产生激光的介质CO2分子的两个能级之能量分别为，，在温度为 400℃时，两能级的分子数之比*N*2∶*N*1为（玻尔兹曼常量，）

(A) 31.5． (B) 7.7．

(C) 0.13． (D) 0.03．

<答案>D

10. 气缸内盛有一定量的氢气(可视作理想气体)，当温度不变而压强增大一倍时，氢气分子的平均碰撞频率和平均自由程的变化情况是：

(A) 和都增大一倍．

(B) 和都减为原来的一半．

(C) 增大一倍而减为原来的一半.

(D) 减为原来的一半而增大一倍．

[ ]

<答案>(C)

**二、 填空题**

1. 有一瓶质量为*M*的氢气(视作刚性双原子分子的理想气体)，温度为*T*，则氢分子的平均平动动能为\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_，氢分子的平均动能为\_\_\_\_\_\_\_\_\_，该瓶氢气的内能为 ．

<答案> *kT ，**kT* ，*MRT*/*M*mol .；

2. 某容器内分子数密度为10 ­26 m-3，每个分子的质量为 3×10-27 kg，设其中 1/6分子数以速率*v* ＝ 200 m / s 垂直地向容器的一壁运动，而其余 5/6分子或者离开此壁、或者平行此壁方向运动，且分子与容器壁的碰撞为完全弹性的．则

(1)每个分子作用于器壁的冲量Δ*P*＝\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_；

(2) 每秒碰在器壁单位面积上的分子数＝\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_；

(3) 作用在器壁上的压强*p*＝\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_．

<答案>1.2×10-24 kg m / s ,×1028  m-2ｓ-1 ,4×103 Pa

3. 一容器内储有某种气体，若已知气体的压强为 3×105 Pa，温度为27℃，密度为0.24 kg/m3，则可确定此种气体是\_\_\_\_\_\_\_\_气；并可求出此气体分子热运动的最概然速率为\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_m/s．(普适气体常量)

<答案>氢，1.58×103.

4. 设气体分子服从麦克斯韦速率分布律，代表平均速率，*vp*代表最概然速率，那么，速率在*vp*到范围内的分子数占分子总数的百分率随气体的温度升高而\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_(增加、降低或保持不变)．

<答案>保持不变.

**5、**用总分子数*N*、气体分子速率 *v* 和速率分布函数 *f* (*v*) 表示下列各量:

(1) 速率大于*v*0的分子数= .

(2) 速率分布在0-*v*0间的气体分子的方均根速率= .

<答案>

6. 某系统由两种理想气体*A*、*B*组成．其分子数分别为*NA*、*NB*．若在某一温度下，*A*、*B*气体各自的速率分布函数为*fA* (*v*)、*fB* (*v*)，则在同一温度下，由*A*、*B*气体组成的系统的速率分布函数为*f*(*v*) =\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_．

<答案>

7. 处于重力场中的某种气体，在高度*z*处单位体积内的分子数即分子数密度为*n*．若*f* (*v*)是分子的速率分布函数，则坐标介于*x*~*x*+d*x*、*y*~*y*+d*y*、*z*~*z*+d*z*区间内,速率介于*v* ~ *v* + d*v*区间内的分子数d *N*=\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_．

<答案> *n* *f*(*v*)d*x*d*y*d*z*d*v*

**8、**氮气分子的有效直径，在标准状态下，分子的平均速率＝ ，平均自由程= ，平均碰撞频率＝ ，平均碰撞周期＝ 。

<答案> 455 m·s－1，5.8×10－8 m ，7.84×109 s－1，1.28 s×10－10 s.

9.影响气体分子的平均碰撞频率的因素有 ， 影响气体分子的平均自由程的因素有 。

<答案>分子大小、密度和分子运动快慢，分子大小、密度有关。

10.水蒸气分解成同温度的氢气和氧气，内能(不计振动自由度)增加了 %。

<答案> 25

**三 、计算题**

1.一薄壁容器内贮有温度为 373 K的水银，在薄壁上开一面积为的小孔，由小孔向外抽气，令抽气速率恰能维持恒定水银蒸气压强为37.3 Pa，见图．求1秒钟从小孔逸出的水银蒸气质量（水银的摩尔质量为, 普适气体常量）．

计算题9.1图



<答案>每秒通过小孔单位面积的水银分子数 

单位时间从小孔逸出的水银质量为

式中，， 

2. 一超声波源发射超声波的功率为10 W．假设它工作10 s，并且全部波动能量都被1 mol氧气吸收而用于增加其内能，则氧气的温度升高了多少？

(氧气分子视为刚性分子，普适气体常量)

解：  *A*= *Pt* = ，

∴ Δ*T* = 2*Pt* /(*viR*)＝4.81 K．

3. 质量的微粒悬浮在27℃的液体中，观察到悬浮粒子的方均根速率为．假设粒子速率服从麦克斯韦速率分布，求阿伏伽德罗常数．(普适气体常量)

解：据 ，

得 *NA*=3*RT* / (*m*)＝6.15×1023 mol-1．

4. 许多星球的温度达到108 K．在这温度下原子已经不存在了，而氢核(质子)是存在的．若把氢核视为理想气体，求：

(1) 氢核的方均根速率是多少？

(2) 氢核的平均平动动能是多少电子伏特？

（普适气体常量，，玻尔兹曼常量)

解：(1) 由 

而氢核 *M*mol＝1×103 kg·mol1

∴ ＝1.58×106 m·s1．

(2) ＝1.29×104 eV．

计算题9.5图



5. 由*N*个分子组成的气体，其分子速率分布如图所示．

(1) 试用*N*与表示*a*的值．

(2) 试求速率在～之间的分子数目．

(3) 试求分子的平均速率．

解：(1) 由分布图可知：

： *N f* (*v*) = ( *a* / *v*0) *v*， *f* (*v*) = *av* /(*N v* 0)．

： *N f* (*v*) = *a*， *f* (*v*) = *a* /*N*．

： *f* (*v*) = 0

由归一化条件， 有 ，

得：， ∴  ．

(2) ，

将*a*代入得 ．

(3) 0→*v*0： *f* (*v*) = *a v* /(*N v*0) = (*v* / *N v* 0)×2 *N* / (3 *v*0) ．

*v*0→2 *v*0： *f* (*v*) = *a* /*N* = ( 1 / *N* )×( 2 *N* / 3 *v* 0) = 2 / (3 *v*0)．



6. 有一真空管，其线度为，真空度（即管内空气压强）约为，设空气分子的有效直径，试求27℃时真空管中单位体积的空气分子数、平均自由程和平均碰撞频率．

（空气的摩尔质量，玻尔兹曼常量

760 mmHg = 1.013×105 Pa）

解：(1) 

(2) 

(3) 此比真空管线度()大得多，所以空气分子之间实际上不可能发生相互碰撞，而只能和管壁碰撞。所以平均自由程就应是真空管的线度，即。这样，平均碰撞频率为

.

7. 求上升到什么高度时大气压强减至地面大气压强的75%，设空气温度为0℃，空气的平均摩尔质量为.（玻尔兹曼常量）

解：  ，



1. 一个大热气球的容积为，气球本身和负载质量共，若其外部空气温度为20℃，要想使气球上升，其内部空气最低要加热到多少摄氏度?

解：以表示标准状况下空气的密度，。以和分别表示热气球外与内空气的密度，则由于热气球外与内压强相等(均取1 atm)，所以有

，  
由热气球所受浮力与负载重量平衡可得



即 

由此得内部空气所需的最低温度为



9.质量为50.0 g、温度为18℃的氮气装在10.0 L的密闭绝热容器中，容器以的速率作匀速直线运动，若容器突然停止，定向运动的动能全部转化为分子热运动的动能，则平衡后氮气的温度和压强各增大多少?（普适气体常量，玻尔兹曼常量）  
 解：根据能均分定理知，由自由度为*i*的粒子组成的质量为*M*、摩尔质量为的气体的内能为

  
其中*R*为普适气体常量，*T*为系统的温度。由于在常温下，氮气分子的自由度分别为，则当温度改变时，系统的内能的变化为



依题意，当系统定向运动的动能全部转化为分子热运动的动能时，系统温度的变化为





因为常温下的气体可以近似为理想气体，则由状态方程知，平衡后，氮气的压强的变化量为



**四 、研讨题**

1.地球大气上层的电离层中，电离气体的温度可达到2000K，每立方厘米中的粒子数目不超过100000个。这个温度是什么意思？一块锡放在电离层中会不会熔化? 已知锡的熔点是505K，熔化潜热是。

参考解答：这个温度是指：电离气体中的粒子的无规则运动动能。

查：锡的密度：6×103kg·m-3，

取m=6g，熔化需吸热： Q=λm=7000×6×10-3≈40J

 

锡块体积：V=1×10-6m3 S=1×10-4m2  n=1×105个/m-3

 



即不会熔化

2. 比较在推导理想气体压强公式、内能公式、平均碰撞频率公式时所使用的理想气体分子模型有何不同？

参考解答：

推导压强公式时，用的是理想气体分子模型，将理想气体分子看作弹性自由质点；在推导内能公式时，计算每个分子所具有的平均能量，考虑了分子的自由度，除了单原子分子仍看作质点外，其他分子都看成了质点的组合；推导平均碰撞频率公式时，将气体分子看成有一定大小、有效直径为*d*的弹性小球。

3. 速率分布分布函数假设气体分子速率分布在0～∞范围内*,* 也就是说存在大于光速*c*的分子。然而，由爱因斯坦的狭义相对论知，任何物体的速度均不会超过光速，这岂不是矛盾? 气体中有速率为无穷大的分子吗?

参考解答：(1) 分布函数归一化条件: (2) 平均速率: 

在以上积分计算中,均假定气体分子速率分布在0→∞范围内,也就是说有速率为无穷大的分子存在,而这与爱因斯坦的狭义相对论任何物体的速率均不可超过光速矛盾.历年来,学生学到这部分内容,总对上面积分中积分限的正确性提出质疑. 那么,气体中是否存在速率为无穷大的分子呢?

从麦克斯韦速率分布函数*f*(*v*)的物理意义及其数学表示式上可方便快捷地得到正确的结论. 分析如下.从物理意义上讲, *f*(*v*)代表速率*v*附近单位速率区间内的分子数所占的比率,要分析是否有速率为无穷大的分子存在,只需计算速率*v*取∞时的*f*(*v*)即可,有



上式说明,速率在无穷大附近的分子数占总分子数的比率为0,即不存在速率无穷大的分子。

既然不存在速率为无穷大的分子,那么正确的积分应选为0到最大速率区间. 为什么选0→∞范围、能否得知一个热力学系统分子运动的最大速率呢?

由微观粒子的波粒二象性及不确定关系可知：分子最大速率的准确值实际上是不可知的。

而从数学上讲,对某个区间的积分运算可以分段进行,或者说加上一个被积函数为0的任意区间的积分,并不影响原积分结果。

4. 试用气体的分子热运动说明为什么大气中氢的含量极少？

参考解答：

气体的算术平均速率公式： ，

在空气中有O2，N2，Ar，H2，CO2等分子，其中以H2的摩尔质量最小．从上式可知，在同一温度下H2的的较大，而在大气中分子速度大于第二宇宙速度11.2公里/秒时，分子就有可能摆脱地球的引力作用离开大气层．H2摩尔质量*μ* 最小，其速度达到11.2公里/秒的分子数就比O2、Ar、CO2达到这一速度的分子数多。H2逃逸地球引力作用的几率最大，离开大气层的氢气最多．所以H2在大气中的含量最少．

5. 测定气体分子速率分布实验为什么要求在高度真空的容器内进行？假若真空度较差，问容器内允许的气体压强受到什么限制？

参考解答：

如果不是高度真空，容器内有杂质粒子，分子与杂质粒子碰撞会改变速率分布，使得测到的分布不准。假若真空度较差，只要分子的平均自由程大于容器的线度*L*，即>*L*，那么可以认为分子在前进过程中基本不受杂质粒子的影响。由于平均自由程与压强的关系为:

, 所以要求 , 即 .

这就是对于容器内压强的限制条件。