

一、几何光学

习题 1: 离水面 1m 深处有一条鱼，现用像方焦距为 75mm 的相机物镜(理解为就是一个透镜)拍摄该鱼，照相物镜的物方焦点距离水面 1m。

试求：

(1)垂轴放大倍率；

(2)照相底片应该距离照相物镜像方焦点的距离。

$$(1) \frac{n'}{v'} - \frac{n}{v} = \frac{n'-n}{r}$$

$$\text{代入数据, 得: } \frac{1}{l'} - \frac{1.33}{1000} = -\frac{0.33}{r}$$

因为是水平面, 故 $r \rightarrow +\infty$

$$\text{化简得: } l' = \frac{1000}{1.33}$$

又根据 $xx' = ff'$

$$\text{带入数据, 得: } \left(-\frac{1000}{1.33} - 1000\right) \cdot x' = 75 \cdot (-75)$$

$$\text{解得: } x' = 3.2108\text{mm}$$

$$\text{所以 } \beta = \beta_1 \beta_2 = \frac{1.33 \times \frac{1000}{1.33}}{1 \times 1000} \times \frac{-(75 + 3.2108)}{75 + 1000 + \frac{1000}{1.33}} = -0.0428$$

(2) 距离已于 (1) 中求出, $x' = 3.2108\text{mm}$

习题 2: 在马路的十字路口有一个凸球面反射镜，其曲率半径为 **1m**，有一个人身高为 **1.6m**，在凸球面反射镜前 **11m** 处。
试求：这个人经过此凸面反射镜后所成像的大小和正倒。

答案：

$$\text{根据 } \frac{n'}{v'} - \frac{n}{v} = \frac{n' - n}{r}$$

$$\text{代入数据: } \frac{1}{l'} + \frac{1}{(-11)} = \frac{2}{1}$$

$$\text{解得: } l' = 0.478\text{m}$$

$$\text{则 } \beta = \frac{nl'}{n'l} = \frac{1 \times 0.478}{(-1)(-11)} = 0.0435$$

$$\text{故 } y' = y \times \beta = 1.6 \times 0.0435 = 0.06956\text{m}$$

正立

习题 3: 一个双光组构成的光学系统，第一个光组的像方焦距为 -24mm ，第二个光组的像方焦距为 50mm ，两个光组之间的距离为 15mm ，该光学系统处于空气中。现有一个高为 25mm 的物体正立于第一个光组左方 80mm 处。试求：该物体的位置及像的高度。要求：使用作图和计算两种方法完成。

答案：

根据第一个透镜与 $xx' = ff'$ ，并代入数据：

$$\text{得：} (-104) \cdot x' = 24 \times (-24)$$

$$\text{解得：} x' = \frac{72}{13}$$

根据第二个透镜与 $xx' = ff'$ ，并代入数据：

$$\text{得：} \left(35 - 24 + \frac{72}{13}\right) \cdot x'' = 50 \times (-50)$$

$$\text{解得：} x'' = -\frac{6500}{43}$$

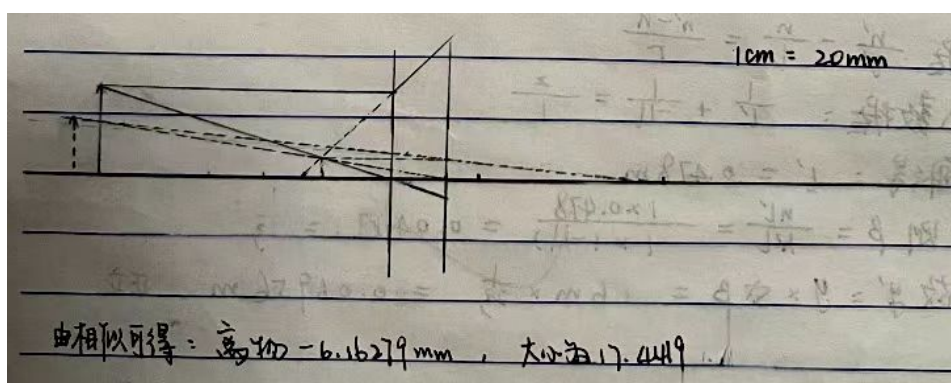
$$\text{故离物：} \left(15 + 50 - \frac{6500}{43}\right) - (-80) = -6.16279\text{mm}$$

$$\beta = \beta_1 \beta_2 = \frac{30}{43}$$

$$r' = \beta r = 17.4419$$

答：离物 -6.16279mm ，大小为 17.4419mm

作图法：



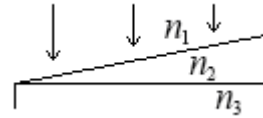
答案：A

二、填空题(每题 10 分，共 40 分)

1. 有一频率为 $\nu = 6 \times 10^{14} \text{Hz}$ 的单色光，穿过折射率为 $n=1.5$ 的透明介质薄片，出射后的该单色光相位改变量为 3π ，则该介质薄片的厚度为_____。

答案：500nm

2. 用波长为 λ 的单色光垂直照射折射率为 n_2 的劈形膜，如图所示。图中各部分折射率的关系为 $n_1 < n_2 < n_3$ ，观察反射光的干涉条纹，从劈形膜尖端开始向右数第 5 条暗条纹中心所对应的厚度 $d = \underline{\hspace{2cm}}$ 。(写作分数形式)

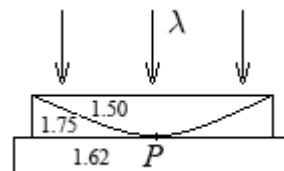


答案： $\frac{9\lambda}{4n_2}$

3. 两块边长都为 20cm 的正方形玻璃片重叠放置，现在两玻璃片之间紧贴边缘处插入一个小纸条，并用波长为 560nm 的单色光垂直照射到玻璃片上，沿着入射方向观察，相邻两条暗条纹之间的距离是 1.4mm，则小纸条的厚度为_____。

答案：0.04mm

7. 在图示三种透明材料构成的牛顿环装置中，平凸透镜与平板玻璃良好接触。用单色光垂直照射，在反射光中观察干涉条纹，则在接触点处形成的圆斑为_____纹。
(填“明”或“暗”)

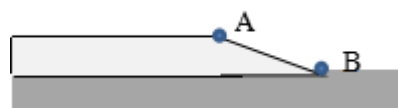


图中数字为各处的折射率

答案：暗

三、计算题(每题 10 分 共 20 分)

1. 集成光学中的楔形薄膜耦合器原理图如图所示。在玻璃衬底上沉积氧化钽 (Ta_2O_5) 薄膜, 薄膜楔形端从 A 到 B 的厚度逐渐减小到零。为测定薄膜的厚度, 用波长 $\lambda = 632.8\text{nm}$ 的 $\text{He} - \text{Ne}$ 激光垂直照射, 观察到薄膜楔形端共出现 11 条暗纹, 且 A 处对应一条暗纹, 试求氧化钽薄膜的厚度 (保留 3 位有效数字)。(Ta_2O_5 对 632.8nm 激光的折射率为 $n_1=2.21$, 玻璃的折射率为 $n_2=1.52$)。



答案：
解答及评分标准：

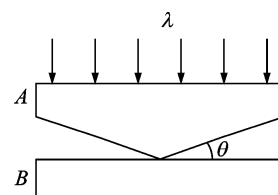
暗纹：

$$2nd + \frac{\pi}{2} = (2K + 1)\frac{\pi}{2} \quad (4)$$

$$d_k = \frac{\lambda K}{2n} \quad (4)$$

$$d_{k=10} = \frac{10\lambda}{2n} = 1.4 \times 10^{-6} \text{ m} \quad (2)$$

4. 在一块平面玻璃片 B 上, 端正地放一锥顶角很大的平底圆锥 A, 锥顶与平面玻璃良好接触。在其间形成一劈尖角 θ 很小的空气薄层, 如图所示。当波长为 λ 的单色平行光垂直入射平底圆锥 A 时, 从上方可以观察到干涉条纹。



(1) 试写出明条纹所满足的条件, 并说明干涉图样形状;

(2) 相邻暗条纹间的空气隙厚度;

(3) 如果该圆锥稍向左倾斜, 干涉条纹有何变化?

答案：
解答及评分标准：

$$(1) \delta = 2\theta x + \frac{1}{2}\lambda = k\lambda \quad (3)$$

$$x_k = \left(\frac{k}{2} - \frac{1}{4}\right) \frac{\lambda}{\theta}$$

$$(2) \Delta x = \frac{\lambda}{2\theta} \quad (3)$$

$$\Delta h = \theta \cdot \Delta x = \frac{\lambda}{2}$$

(3) 由 (2) 可知 θ 越小, Δx 越大, 因此干涉条纹左疏右密 (4)

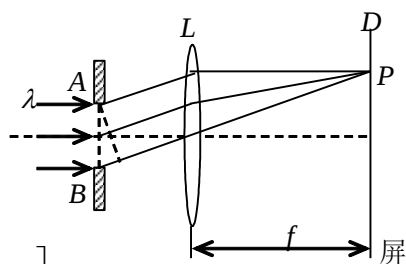
三、波动光学-衍射

一. 选择题 (每题 10 分, 共 40 分)

1、一束波长为 λ 的平行单色光垂直入射到一单缝 AB 上, 装置如图. 在屏幕 D 上形成衍射图样, 如果 P 是中央亮纹一侧第一个暗纹所在的位置, 则 $\overline{BC}$ 的长度为

- (A) $\lambda/2$. (B) λ .
(C) $3\lambda/2$. (D) 2λ .

[]



答案 : B

2、在夫琅禾费单缝衍射实验中, 对于给定的入射单色光, 当缝宽度变小时, 除中央亮纹的中心位置不变外, 各级衍射条纹

- (A) 对应的衍射角变小。 (B) 对应的衍射角变大。
(C) 对应的衍射角也不变。 (D) 光强也不变。

[]

答案 : B

3、一单色平行光束垂直照射在宽度为 1.0 mm 的单缝上, 在缝后放一焦距为 2.0 m 的会聚透镜. 已知位于透镜焦平面处的屏幕上的中央明条纹宽度为 2.0 mm, 则入射光波长约为($1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$)

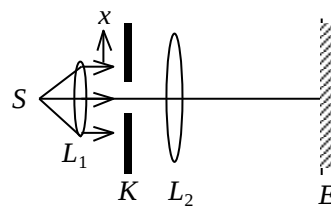
- (A) 100 nm (B) 400 nm
(C) 500 nm (D) 600 nm

[]

答案 : C

4、在如图所示的单缝的夫琅禾费衍射实验中, 将单缝 K 沿垂直于光的入射方向(沿图中的 x 方向)稍微平移, 则

- (A) 衍射条纹移动, 条纹宽度不变。
(B) 衍射条纹移动, 条纹宽度变动。
(C) 衍射条纹中心不动, 条纹变宽。
(D) 衍射条纹不动, 条纹宽度不变。 []



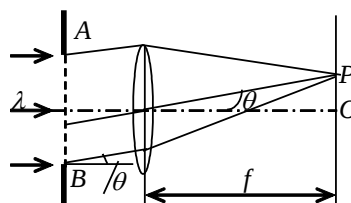
答案 : D

二. 填空题(每题 20 分, 共 40 分)

1、平行单色光垂直入射在缝宽为 $a=0.15\text{ mm}$ 的单缝上. 缝后有焦距为 $f=400\text{ mm}$ 的凸透镜, 在其焦平面上放置观察屏幕. 现测得屏幕上中央明条纹两侧的两个第三级暗纹之间的距离为 8 mm , 则入射光的波长为 $\lambda=$ _____。

答案 : 500 nm (或 $5 \times 10^{-4}\text{ mm}$)

2、波长为 $\lambda=480.0\text{ nm}$ 的平行光垂直照射到宽度为 $a=0.40\text{ mm}$ 的单缝上, 单缝后透镜的焦距为 $f=60\text{ cm}$, 当单缝两边缘点 A 、 B 射向 P 点的两条光线在 P 点的相位差为 π 时, P 点离透镜焦点 O 的距离等于_____。



答案 : 0.36 mm

三. 计算题(每题 20 分)

1. 在夫琅禾费单缝衍射实验中, 如果缝宽 a 与入射光波长 λ 的比值分别为(1) 1, (2) 10, (3) 100, 试分别计算中央明条纹边缘的衍射角. 再讨论计算结果说明什么问题。

答案 :

解答及评分标准:

(1) $a=\lambda$, $\sin \varphi=\lambda/a$, $\lambda/a=1$, $\varphi=90^\circ$ (2 分)

(2) $a=10\lambda$, $\sin \varphi=\lambda/a=0.1$, $\varphi=5^\circ 44'$ (2 分)

(3) $a=100\lambda$, $\sin \varphi=\lambda/a=0.01$, $\varphi=34'$ (2 分)

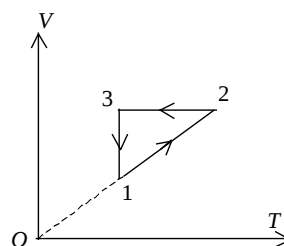
这说明, 比值 λ/a 变小的时候, 所求的衍射角变小, 中央明纹变窄

(其它明纹也相应地变为更靠近中心点), 衍射效应越来越不明显。 (2 分)

($\lambda/a \rightarrow 0$ 的极限情形即几何光学的情形: 光线沿直传播, 无衍射效应。 (2 分)

四、热力学&气体动理论

1. 一定质量的理想气体完成一循环过程。此过程在 $V-T$ 图中用图线 $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 1$ 描写。该气体在循环过程中吸热、放热的情况是



(A) 在 $1 \rightarrow 2$, $3 \rightarrow 1$ 过程吸热; 在 $2 \rightarrow 3$ 过程放热.

(B) 在 $2 \rightarrow 3$ 过程吸热; 在 $1 \rightarrow 2$, $3 \rightarrow 1$ 过程放热.

(C) 在 $1 \rightarrow 2$ 过程吸热; 在 $2 \rightarrow 3$, $3 \rightarrow 1$ 过程放热.

(D) 在 $2 \rightarrow 3$, $3 \rightarrow 1$ 过程吸热; 在 $1 \rightarrow 2$ 过程放热. []

答案: C

2. 在温度分别为 327°C 和 27°C 的高温热源和低温热源之间工作的热机, 理论上的最大效率为

(A) 25%

(B) 50%

(C) 75%

(D) 91.74%

[]

答案: B

3. 有人设计一台卡诺热机(可逆的). 每循环一次可从 400 K 的高温热源吸热 1800 J , 向 300 K 的低温热源放热 800 J . 同时对外做功 1000 J , 这样的设计是

(A) 可以的, 符合热力学第一定律.

(B) 可以的, 符合热力学第二定律.

(C) 不行的, 卡诺循环所作的功不能大于向低温热源放出的热量.

(D) 不行的, 这个热机的效率超过理论值. []

答案: D

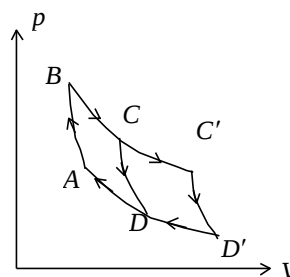
4. 如图表示的两个卡诺循环, 第一个沿 $ABCD A$ 进行, 第二个沿 $ABC'D'A$ 进行, 这两个循环的效率 η_1 和 η_2 的关系及这两个循环所作的净功 W_1 和 W_2 的关系是

(A) $\eta_1 = \eta_2, W_1 = W_2$

(B) $\eta_2 > \eta_1, W_1 = W_2$.

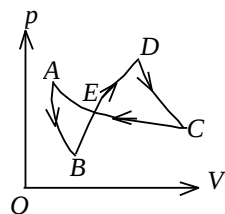
(C) $\eta_1 = \eta_2, W_1 > W_2$.

(D) $\eta_1 = \eta_2, W_1 < W_2$. []



答案 D

5. 如图所示, AB 、 DC 是绝热过程, CEA 是等温过程, BED 是任意过程, 组成一个循环。若图中 $EDCE$ 所包围的面积为 70 J , $EABE$ 所包围的面积为 30 J , 过程中系统放热 100 J , 求 BED 过程中系统吸热为多少?



解: 正循环 $EDCE$ 包围的面积为 70 J , 表示系统对外作正功 70 J ; $EABE$ 的面积为 30 J , 因图中表示为逆循环, 故系统对外作负功, 所以整个循环过程系统对外

作功为: $W = 70 + (-30) = 40 \text{ J}$ 3 分

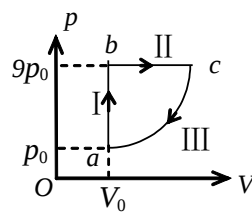
设 CEA 过程中吸热 Q_1 , BED 过程中吸热 Q_2 , 由热一律,

$$W = Q_1 + Q_2 = 40 \text{ J} \quad 3 \text{ 分}$$

$$Q_2 = W - Q_1 = 40 - (-100) = 140 \text{ J}$$

BED 过程中系统从外界吸收 140 焦耳热 。

6. 1 mol 单原子分子的理想气体, 经历如图所示的可逆循环, 联结 ac 两点的曲线 III 的方程为 $p = p_0 V^2 / V_0^2$, a 点的温度为 T_0



(1) 试以 T_0 , 普适气体常量 R 表示 I、II、III 过程中气体吸收的热量。

(2) 求此循环的效率。

(提示: 循环效率的定义式 $\eta = 1 - Q_2/Q_1$, Q_1 为循环中气体吸收的热量, Q_2 为循环中气体放出的热量。)

解: 设 a 状态的状态参量为 p_0, V_0, T_0 , 则 $p_b = 9p_0, V_b = V_0, T_b = (p_b/p_a)T_a = 9T_0$ 1 分

$$\therefore p_c = \frac{p_0 V_c^2}{V_0^2} \quad \therefore V_c = \sqrt{\frac{p}{p_0}} V_0 = 3V_0 \quad 1 \text{ 分}$$

$$\therefore p_c V_c = RT_c \quad \therefore T_c = 27T_0 \quad 1 \text{ 分}$$

$$(1) \text{ 过程 I } Q_V = C_V(T_b - T_a) = \frac{3}{2}R(9T_0 - T_0) = 12RT_0 \quad 1 \text{ 分}$$

$$\text{过程 II } Q_p = C_p(T_c - T_b) = 45 RT_0 \quad 1 \text{ 分}$$

$$\text{过程 III } Q = C_V(T_a - T_c) + \int_{V_c}^{V_a} (p_0 V^2) dV / V_0^2$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{3}{2}R(T_0 - 27T_0) + \frac{p_0}{3V_0^2}(V_a^3 - V_c^3) \\
 &= -39RT_0 + \frac{p_0(V_0^3 - 27V_0^3)}{3V_0^2} = -47.7RT_0 \quad 3 \text{ 分}
 \end{aligned}$$

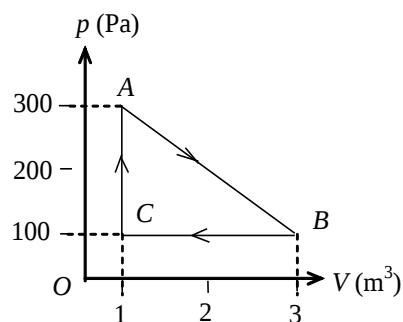
$$(2) \quad \eta = 1 - \frac{|Q|}{Q_V + Q_p} = 1 - \frac{47.7RT_0}{12RT_0 + 45RT_0} = 16.3\% \quad 2 \text{ 分}$$

7. 一定量的某种理想气体进行如图所示的循环过程. 已

知气体在状态 A 的温度为 $T_A = 300 \text{ K}$, 求

- (1) 气体在状态 B 、 C 的温度;
- (2) 各过程中气体对外所作的功;
- (3) 经过整个循环过程, 气体从外界吸收的总热量

(各过程吸热的代数和).



解:

由图, $p_A = 300 \text{ Pa}$, $p_B = p_C = 100 \text{ Pa}$; $V_A = V_C = 1 \text{ m}^3$, $V_B = 3 \text{ m}^3$.

- (1) $C \rightarrow A$ 为等体过程, 据方程 $p_A/T_A = p_C/T_C$ 得

$$T_C = T_A p_C / p_A = 100 \text{ K}. \quad 2 \text{ 分}$$

$B \rightarrow C$ 为等压过程, 据方程 $V_B/T_B = V_C/T_C$ 得

$$T_B = T_C V_B / V_C = 300 \text{ K}. \quad 2 \text{ 分}$$

- (2) 各过程中气体所作的功分别为

$$A \rightarrow B: \quad W_1 = \frac{1}{2}(p_A + p_B)(V_B - V_C) = 400 \text{ J}.$$

$$B \rightarrow C: \quad W_2 = p_B (V_C - V_B) = -200 \text{ J}.$$

$$C \rightarrow A: \quad W_3 = 0 \quad 3 \text{ 分}$$

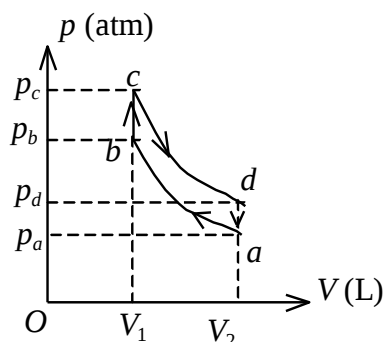
- (3) 整个循环过程中气体所作总功为

$$W = W_1 + W_2 + W_3 = 200 \text{ J}.$$

因为循环过程气体内能增量为 $\Delta E = 0$, 因此该循环中气体总吸热

$$Q = W + \Delta E = 200 \text{ J}.$$

8. 1 mol 氦气作如图所示的可逆循环过程, 其中 ab 和 cd 是绝热过程, bc 和 da 为等体过程, 已知 $V_1 = 16.4 \text{ L}$, $V_2 = 32.8 \text{ L}$, $p_a = 1 \text{ atm}$, $p_b = 3.18 \text{ atm}$, $p_c = 4 \text{ atm}$, $p_d = 1.26 \text{ atm}$, 试求:



- (1) 在各态氦气的温度.
- (2) 在 c 态氦气的内能.
- (3) 在一循环过程中氦气所作的净功.

$$(1 \text{ atm} = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa})$$

$$(\text{普适气体常量 } R = 8.31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$$

解: (1) $T_a = p_a V_2 / R = 400 \text{ K}$

$$T_b = p_b V_1 / R = 636 \text{ K}$$

$$T_c = p_c V_1 / R = 800 \text{ K}$$

$$T_d = p_d V_2 / R = 504 \text{ K} \quad 4 \text{ 分}$$

$$(2) \quad E_c = (i/2) R T_c = 9.97 \times 10^3 \text{ J} \quad 2 \text{ 分}$$

(3) $b \rightarrow c$ 等体吸热

$$Q_1 = C_V (T_c - T_b) = 2.044 \times 10^3 \text{ J} \quad 1 \text{ 分}$$

$d \rightarrow a$ 等体放热

$$Q_2 = C_V (T_d - T_a) = 1.296 \times 10^3 \text{ J} \quad 1 \text{ 分}$$

$$W = Q_1 - Q_2 = 0.748 \times 10^3 \text{ J} \quad 2 \text{ 分}$$

9. 比热容比 $\gamma = 1.40$ 的理想气体进行如图所示的循环. 已知状态 A 的温度为 300 K. 求:

- (1) 状态 B、C 的温度;
- (2) 每一过程中气体所吸收的净热量.

$$(\text{普适气体常量 } R = 8.31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$$

解: 由图得 $p_A = 400 \text{ Pa}$, $p_B = p_C = 100 \text{ Pa}$,
 $V_A = V_B = 2 \text{ m}^3$, $V_C = 6 \text{ m}^3$.

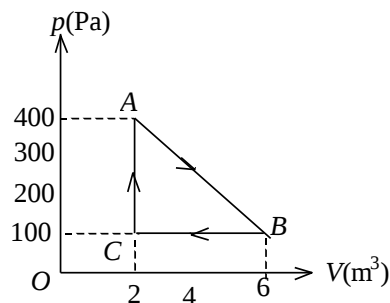
(1) $C \rightarrow A$ 为等体过程, 据方程 $p_A / T_A = p_C / T_C$ 得

$$T_C = T_A p_C / p_A = 75 \text{ K}$$

1 分

$B \rightarrow C$ 为等压过程, 据方程 $V_B / T_B = V_C / T_C$ 得

$$T_B = T_C V_B / V_C = 225 \text{ K} \quad 1 \text{ 分}$$



(2) 根据理想气体状态方程求出气体的物质的量(即摩尔数) ν 为

$$\nu = p_A V_A / RT_A = 0.321 \text{ mol}$$

由 $\gamma = 1.4$ 知该气体为双原子分子气体, $C_V = \frac{5}{2}R$, $C_P = \frac{7}{2}R$

$$B \rightarrow C \text{ 等压过程吸热} \quad Q_2 = \frac{7}{2} \nu R(T_C - T_B) = -1400 \text{ J.} \quad 2 \text{ 分}$$

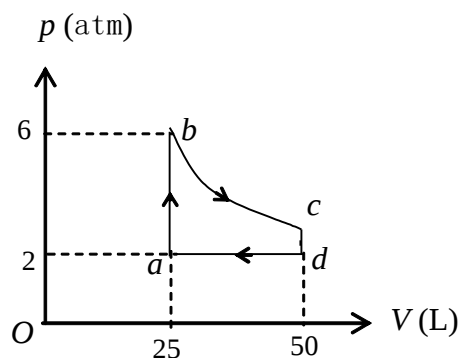
$$C \rightarrow A \text{ 等体过程吸热} \quad Q_3 = \frac{5}{2} \nu R(T_A - T_C) = 1500 \text{ J.} \quad 2 \text{ 分}$$

循环过程 $\Delta E = 0$, 整个循环过程净吸热

$$Q = W = \frac{1}{2}(p_A - p_C)(V_B - V_C) = 600 \text{ J.}$$

$$\therefore A \rightarrow B \text{ 过程净吸热:} \quad Q_1 = Q - Q_2 - Q_3 = 500 \text{ J} \quad 4 \text{ 分}$$

10. 气缸内贮有 36 g 水蒸汽(视为刚性分子理想气体), 经 $abcda$ 循环过程如图所示. 其中 $a-b$ 、 $c-d$ 为等体过程, $b-c$ 为等温过程, $d-a$ 为等压过程. 试求:



(1) $d-a$ 过程中水蒸气作的功 W_{da}

(2) $a-b$ 过程中水蒸气内能的增量 ΔE_{ab}

(3) 循环过程水蒸气作的净功 W

(4) 循环效率 η

(注: 循环效率 $\eta = W/Q_1$, W 为循环过程水蒸气对外作的净功, Q_1 为循环过程水蒸气吸收的热量, $1 \text{ atm} = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$)

解: 水蒸汽的质量 $M = 36 \times 10^{-3} \text{ kg}$

水蒸汽的摩尔质量 $M_{mol} = 18 \times 10^{-3} \text{ kg}$, $i = 6$

$$(1) \quad W_{da} = p_a(V_a - V_d) = -5.065 \times 10^3 \text{ J} \quad 2 \text{ 分}$$

$$\begin{aligned} (2) \quad \Delta E_{ab} &= (M/M_{mol})(i/2)R(T_b - T_a) \\ &= (i/2)V_a(p_b - p_a) \\ &= 3.039 \times 10^4 \text{ J} \end{aligned} \quad 2 \text{ 分}$$

$$(3) \quad T_b = \frac{p_b V_a}{(M/M_{mol})R} = 914 \text{ K}$$

$$W_{bc} = (M/M_{mol})RT_b \ln(V_c/V_b) = 1.05 \times 10^4 \text{ J}$$

$$\text{净功 } W = W_{bc} + W_{da} = 5.47 \times 10^3 \text{ J} \quad 3 \text{ 分}$$

$$(4) \quad Q_1 = Q_{ab} + Q_{bc} = \Delta E_{ab} + W_{bc} = 4.09 \times 10^4 \text{ J}$$

$$\eta = W / Q_1 = 13\%$$

3 分

题号: 20645015

分值: 10 分

难度系数等级: 5

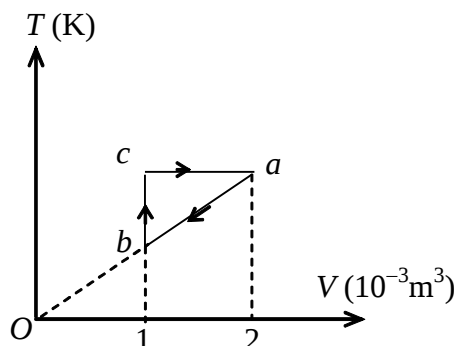
11. 1 mol 单原子分子理想气体的循环过程如 $T-V$ 图

所示, 其中 c 点的温度为 $T_c = 600 \text{ K}$. 试求:

(1) ab 、 bc 、 ca 各个过程系统吸收的热量;

(2) 经一循环系统所作的净功;

(3) 循环的效率.



(注: 循环效率 $\eta = W / Q_1$, W 为循环过程系统对外作的净功, Q_1 为循环过程系统从外界吸收的热量 $\ln 2 = 0.693$)

解: 单原子分子的自由度 $i=3$. 从图可知, ab 是等压过程,

$$V_a / T_a = V_b / T_b, \quad T_a = T_c = 600 \text{ K}$$

$$T_b = (V_b / V_a) T_a = 300 \text{ K}$$

2 分

$$(1) \quad Q_{ab} = C_p (T_b - T_c) = \left(\frac{i}{2} + 1\right) R (T_b - T_c) = -6.23 \times 10^3 \text{ J} \quad (\text{放热})$$

$$Q_{bc} = C_v (T_c - T_b) = \frac{i}{2} R (T_c - T_b) = 3.74 \times 10^3 \text{ J} \quad (\text{吸热})$$

$$Q_{ca} = RT_c \ln(V_a / V_c) = 3.46 \times 10^3 \text{ J} \quad (\text{吸热}) \quad 4 \text{ 分}$$

$$(2) \quad W = (Q_{bc} + Q_{ca}) - |Q_{ab}| = 0.97 \times 10^3 \text{ J} \quad 2 \text{ 分}$$

$$(3) \quad Q_1 = Q_{bc} + Q_{ca}, \quad \eta = W / Q_1 = 13.4\% \quad 2 \text{ 分}$$

1. A、B、C三个容器都装有理想气体，他们的分子数密度之比为 $n_1:n_2:n_3=4:2:1$ ，而分子的平均平动动能之比为 $\bar{\varepsilon}_1:\bar{\varepsilon}_2:\bar{\varepsilon}_3=1:2:4$ ，

求：它们的压强之比。

4. A、B、C3个容器中皆装有理想气体，它们的分子数密度之比为 $n_A:n_B:n_C=4:2:1$ ，而分子的平均平动动能之比为 $\bar{\varepsilon}_A:\bar{\varepsilon}_B:\bar{\varepsilon}_C=1:2:4$ ，则它们的压强之比 $p_A:p_B:p_C$ 为 **【A】**

(A) 1: 1: 1 (B) 1: 2; 2 (C) 1: 2; 3 (D) 1: 2; 4

参考答案： $p = \frac{2}{3}n\bar{\varepsilon}$ $p_A:p_B:p_C = \frac{2}{3}n_A\bar{\varepsilon}_A:\frac{2}{3}n_B\bar{\varepsilon}_B:\frac{2}{3}n_C\bar{\varepsilon}_C = 1:1:1$

- 2.一容器内储有氧气，温度为 27°C ，其压强为 $1.02 \times 10^5 \text{ Pa}$ ，设分子间均匀等距排列。

求：(1)气体分子数密度；

(2)氧气的密度；

(3)分子的平均平动动能；

(4)分子间的平均距离。

解 (1) $n = p/kT = 2.44 \times 10^{25} \text{ m}^{-3}$

$$(2) \rho = nm = n \frac{M}{N_A} = 1.30 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$(3) \bar{\varepsilon}_k = 3kT/2 = 6.21 \times 10^{-21} \text{ J}$$

$$(4) \bar{d} = \sqrt[3]{1/n} = 3.45 \times 10^{-9} \text{ m}$$

(5) 整个容器内的分子可以被看成是均匀等距排列的。假设分子间的平均距离为 $\bar{d}$ 。则每个分子占有的平均体积为 $v_0 = \bar{d}^3$ 。

由数密度的含意 $n = \frac{1}{v_0}$ 可知， $v_0 = \frac{1}{n}$ 。

可见， $\bar{d}^3 = \frac{1}{n}$ 。于是，氢气分子间的平均距离为

$$\bar{d} = \sqrt[3]{\frac{1}{n}} = \sqrt[3]{\frac{1}{2.44 \times 10^{25}}} \text{ m} \approx 3.45 \times 10^{-9} \text{ m}$$

3. 绿光的波长为550nm ($1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$)。

理想气体在标准状态下,

求: 以绿光的波长为边长的立方体内有多少个分子? (玻尔兹曼常数 $k = 1.38 \times 10^{-23}\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$)

1. 绿光的波长是550nm ($1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$)。理想气体在标准状态下, 以绿光的波长为边长的立方体内有多少个分子? (玻尔兹曼常量 $k = 1.38 \times 10^{-23}\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$)

解: 标准状态 $T = 273.15\text{K}$ $p = 1.01 \times 10^5\text{Pa}$

$$V = (550 \times 10^{-9})^3 \text{ m}^3$$

$$pV = \frac{M}{\mu} RT \quad \mu = N_0 m \quad R = N_0 k \quad N = \frac{M}{m} = \frac{pV}{RT} N_0 = \frac{pV}{kT}$$

$$N = \frac{pV}{kT} = \frac{1.01 \times 10^5 \times (550)^3 \times 10^{-27}}{1.38 \times 10^{-23} \times 273.15} = 4.5 \times 10^6 \text{ (个)}$$

4. 将2kg的氦气和Mkg的氢气混合, 达到平衡后混合气体的内能为 $4.90 \times 10^6\text{J}$, 氦分子的平均动能为 $6 \times 10^{-21}\text{J}$,

求: 氢气的质量。(玻尔兹曼常数 $k = 1.38 \times 10^{-23}\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$, 普适气体常数 $R = 8.31\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

2. 将2kg氦气和Mkg氢气混合, 平衡后混合气体的内能是 $4.90 \times 10^6\text{J}$, 氦分子平均动能是 $6 \times 10^{-21}\text{J}$, 求氢气质量 M。

解: 氦分子平均动能 $\bar{\epsilon}_k = \frac{3}{2} kT$

$$\text{混合气体内能} \quad E = \left(\frac{M_{\text{氦}}}{\mu_{\text{氦}}} \frac{5}{2} + \frac{M_{\text{氢}}}{\mu_{\text{氢}}} \frac{3}{2} \right) RT$$

$$M_{\text{氢}} = \left(\frac{Ek}{R\bar{\epsilon}_k} - \frac{M_{\text{氦}}}{\mu_{\text{氦}}} \right) \frac{3}{5} \mu_{\text{氢}} \\ = \left(\frac{4.90 \times 10^6 \times 1.38 \times 10^{-23}}{8.31 \times 6 \times 10^{-21}} - \frac{2}{4 \times 10^{-3}} \right) \times \frac{3}{5} \times 2 \times 10^{-3} = 1.032 \text{ (kg)}$$

(玻尔兹曼常量 $k = 1.38 \times 10^{-23}\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$, 普适气体常量

$R = 8.31\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

5. 质量为 $8.5 \times 10^{-17} \text{ kg}$ 的微粒悬浮在 27° 液体中, 观察到悬浮微粒的方均根速率为 $1.2 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ 。假设粒子的速率服从麦克斯韦速率分布,

求: 阿伏伽德罗常数。(普适气体常数 $R = 8.31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

4. 质量 $m = 8.5 \times 10^{-17} \text{ kg}$ 的微粒悬浮在 27°C 大的液体中, 观察到悬浮粒子的方均根速率为 $1.2 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ 。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 $R = 8.31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

$$\text{解: } \sqrt{v^2} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} = \sqrt{\frac{3RT}{N_0 m}}$$

$$N_0 = \frac{3RT}{m(\sqrt{v^2})^2} = \frac{3 \times 8.31 \times 300}{8.5 \times 10^{-17} \times (1.2 \times 10^{-2})^2} = 6.11 \times 10^{23}$$

6. 一截面积均匀的封闭圆筒, 中间被一光滑的活塞分隔为两部分, 如果其中一部分装有 0.1 kg 某一温度的氢气, 为了使活塞停留在圆筒的正中央,

求: 另一部分应该装入同一温度的氧气的质量。

3. 有一截面均匀的封闭圆筒, 中间被一光滑的活塞分隔成两部分, 如果其中的一部分装有 0.1 kg 某一温度的氢气, 为了使活塞停留在圆筒的正中央, 则另一部分应装入同一温度的氧气的质量为 1.6 kg 。

$$pV = \frac{M}{\mu} RT \quad \frac{M_{\text{氢}}}{\mu_{\text{氢}}} = \frac{M_{\text{氧}}}{\mu_{\text{氧}}} \quad M_{\text{氧}} = \frac{M_{\text{氢}}}{\mu_{\text{氢}}} \mu_{\text{氧}} = \frac{0.1 \times 32 \times 10^{-3}}{2 \times 10^{-3}} = 1.6 \text{ (kg)}$$

7. 20个质点的速率如下:

质点的个数	速率
2	v_0
3	$2v_0$
5	$3v_0$
4	$4v_0$
3	$5v_0$
2	$6v_0$
1	$7v_0$

求: (1)平均速率

(2)方均根速率

(3)最概然速率

解:

$$\bar{v} = \frac{\sum v_i N_i}{N}$$

$$\bar{v} = \frac{2v_0 + 6v_0 + 15v_0 + 16v_0 + 15v_0 + 12v_0 + 7v_0}{20}$$

$$\sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{\sum v_i^2 N_i}{N}}$$

$$= \sqrt{\frac{2v_0^2 + 3(2v_0)^2 + 5(3v_0)^2 + 4(4v_0)^2 + 3(5v_0)^2 + 2(6v_0)^2 + (7v_0)^2}{20}}$$

$$= 3.99v_0$$

$$v_p = 3v_0$$

结束 目录

8. 设N个粒子的系统的速率分布函数为:

$$dN = kdv \quad (0 < v < V) \quad k \text{为常数}$$

$$dN = 0 \quad (v > V)$$

求: (1)画出分布函数图

(2)使用N和V表示常数k

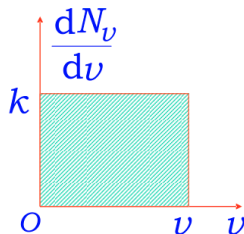
(3)使用V表示算术平均速率和方均根速率

解: (1)分布函数如图

$$(2) \quad dN_v = kdv$$

$$\int_0^N dN_v = \int_0^V kdv$$

$$N = kV \quad \therefore k = \frac{N}{V}$$



$$(3) \quad \bar{v} = \frac{\int_0^V v kdv}{\int_0^N dN} = \frac{v}{2}$$

$$\sqrt{\overline{v^2}} = \left(\frac{\int_0^V v^2 kdv}{\int_0^N dN} \right)^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{\sqrt{3}} v$$

结束 目录

9. 容器内储有1mol的某种气体, 今从外界输入

$2.09 \times 10^2 \text{J}$ 的热量, 测得其温度升高10K,

求: 该气体分子的自由度数

解:

$$\Delta E = \frac{i}{2} R \Delta T$$

$$i = \frac{2\Delta E}{R\Delta T}$$

$$= \frac{2 \times 2.09 \times 10^2}{8.31 \times 10} = 5.03 \approx 5$$

10. 说明下列各式的物理意义

求: (1) $f(v)dv$

(2) $Nf(v)dv$

(3) $\int_{v_1}^{v_2} f(v)dv$

(4) $\int_{v_1}^{v_2} Nf(v)dv$

(5) $\int_{v_1}^{v_2} \frac{1}{2}mv^2 Nf(v)dv$

(1) 分子速率在 v 附近 dv 速率间隔内的分子数占总分子数的比率;

(2) 分子速率在 v 附近 dv 速率间隔内的分子数;

(3) 分子速率在 v_1 到 v_2 速率间隔内的分子数占总分子数的比率;

(4) 分子速率在 v_1 到 v_2 速率间隔内的分子数;

(5) 分子速率在 v_1 到 v_2 速率间隔内的所有分子的总动能.

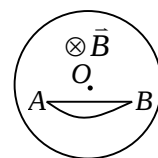
五、电磁感应

提示：无限长的载流直导线在距离其垂直距离为 x 处产生的磁感应强度的大小为 $\frac{\mu_0 I}{2\pi x}$ ，方向使用右手螺旋判定。

(每题 10 分，共 100 分)

1. 在圆柱形空间内有一磁感强度为 $\vec{B}$ 的均匀磁场，如图所示。 $\vec{B}$ 的大小以速率 dB/dt 变化。在磁场中有 A 、 B 两点，其间可放直导线 AB 和弯曲的导线 $\widehat{AB}$ ，则

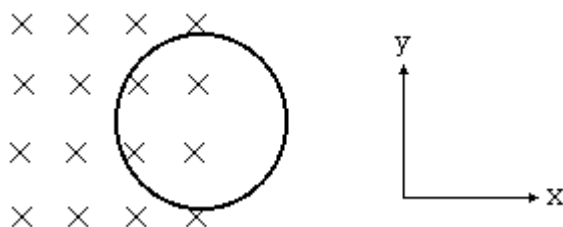
- (A) 电动势只在 AB 导线中产生。
- (B) 电动势只在 $\widehat{AB}$ 导线中产生。
- (C) 电动势在 AB 和 $\widehat{AB}$ 中都产生，且两者大小相等。
- (D) $\widehat{AB}$ 导线中的电动势小于 AB 导线中的电动势。



[D]

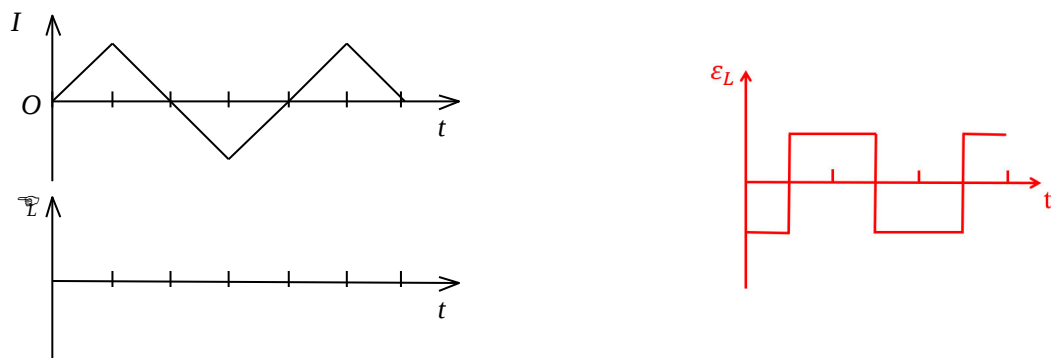
2. 如图：一闭合导体环，一半在匀强磁场中，另一半在磁场外，为了环中感生出顺时针方向的电流，则应：

- (A) 使环沿 y 轴正向平动；
- (B) 使环沿 x 轴正向平动；
- (C) 环不动，增强磁场的磁感应强度；
- (D) 使环沿 x 轴反向平动。

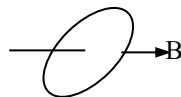


[B]

3. 一线圈中通过的电流 I 随时间 t 变化的曲线如图所示. 试定性画出自感电动势 ε_L 随时间变化的曲线. (以 I 的正向作为 ε 的正向)



4. n 匝圆形线圈半径为 r , 处在匀强磁场中, 线圈所在平面与磁场方向夹角 $\alpha = 30^\circ$, 磁场的磁感应强度随时间均匀增强, 线圈中产生的感应电流强度为 I , 为使线圈产生的感应电流强度为 $2I$, 可采取的办法是



- (A) 使线圈匝数变为原来的 2 倍;
- (B) 使线圈匝数变为原来的 8 倍;
- (C) 使线圈半径变为原来的 2 倍;
- (D) 使线圈半径变为原来的 8 倍。

[C]

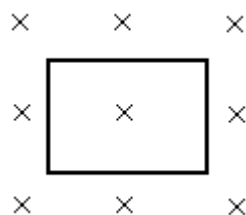
5. 如图示, 一矩形线圈长宽各为 a, b , 置于均匀磁场 B 中, 且 B 随时间的变化规律为 $B = B_0 - kt$, 线圈平面与磁场方向垂直, 则线圈内感应电动势大小为:

(A) $ab(B_0 - kt)$

(B) abB_0

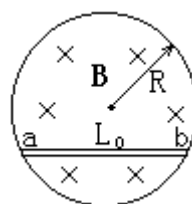
(C) kab

(D) 0



[C]

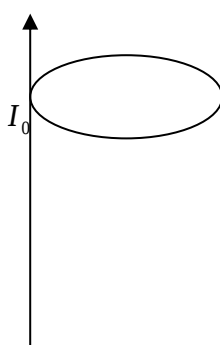
6. 如图, 半径为 R 的圆柱形空间, 充满匀强磁场 $\vec{B}$ 。长度为 L_0 的金属棒 ab 如图放置, 当磁场以速率 $\frac{dB}{dt}$ 增大时, ab 中感应电动势的大小是 $\frac{L_0}{2} \sqrt{P_1^2 - \frac{L_0^2}{4}} \frac{dB}{dt}$ 。



7. 飞机以 $v = 200 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的速度水平飞行, 机翼

两端相距离 $l = 30 \text{ m}$, 两端这间可当作连续导体。已知飞机所在处地磁场的磁感应强度 $\vec{B}$ 在竖直方向上的分量 $2 \times 10^{-5} \text{ T}$ 。机翼两端电势差 U 为 0.12 V 。

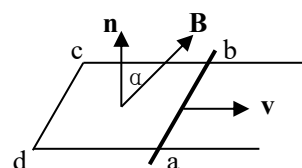
8. 如图, 把一无限长的直导线穿过一导线圆环, 二者相互绝缘。圆环平面与导线垂直。直导线通有稳恒电流 I_0 。圆环绕直导线转动时, 环中 没有 产生感生电流。



9. 如图所示, 线圈 $abcd$ 放在 $B = 6.0 \text{ T}$ 的均匀磁场中, 磁场方向与线圈平面法线的夹角 $\alpha = 60^\circ$, $ab = 1.0 \text{ m}$, 可左右滑动。今将 ab 以速率 $v = 5.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 向右运动, 求感应电动势的大小及感应电流的方向。

15 V

$b \rightarrow a \rightarrow d \rightarrow c \rightarrow b$



10. 求长度为 L 的金属杆在均匀磁场 $\vec{B}$ 中绕平行于磁场方向的定轴 OO' 转动时的动生电动势大小和方向。已知杆相对于均匀磁场 $\vec{B}$ 的方位角为 θ ，杆的角速度为 ω ，转向如图所示。

$$\frac{1}{2} B \omega L^2 \sin^2 \theta$$

