

# 基础物理复习纲要及14套复习题

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

沈 喆 2009.12

## 基础物理学II概要

热学部分

第一章 热力学系统的平衡态及状态方程  
第二章 热平衡态的统计分布律  
第三章 近平衡态中的输运过程  
第四章 热力学第一定律  
第五章 热力学第二定律和第三定律

光学与近代物理部分

第一章 光学引言  
第二章 光的干涉  
第三章 光的衍射  
第四章 光的偏振  
第五章 相对论  
第六章 量子物理基础  
第七章 原子和分子

1

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

沈 喆 2009.12

## 热学第一章 热力学系统的平衡态及状态方程

### 热力学系统的平衡态及状态方程

#### 一. 物质结构的基本图像

1. 物质由分子、原子等微观粒子组成，微观粒子之间存在一定的空隙；
2. 物质分子处于永不停顿的无规则状态运动；
3. 分子之间存在相互作用

#### 二. 基本概念

1. 热力学系统 热物理学所研究的具体对象，简称系统，系统由大量存在相互作用的分子组成。
2. 状态量与过程量 用来确定系统状态的物理量，称为系统的状态(参)量，如果物理量受到系统达到某一状态前的过程影响，则是过程量。

2

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

沈 喆 2009.12

## 热学第一章 热力学系统的平衡态及状态方程

3. 平衡态 在没有外界影响的情况下，系统各部分的宏观性质不随时间改变的状态，称为平衡态。
4. 理想气体模型  
宏观：严格遵从气体三定律的气体。  
微观：略分子线度；完全弹性碰撞；略其余相互作用。

### 三. 温度与温标

1. 热力学第零定律 设A系统和C系统、B系统和C系统分别热平衡，则A系统和B系统一定热平衡。
2. 温标 温度(高低的数值标定)的数值表示方法。  
温标的三要素：测温物质、测温属性、固定标准点  
常见温标：经验温标，理想气体温标，热力学温标，国际实用温标

理想气体温标 $T(K)$   $T/K = 273.15 + t/^{\circ}C$   
热力学温标 $T(K)$   $T/K = 273.16 + t/^{\circ}C$

3

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

沈 喆 2009.12

## 热学第一章 热力学系统的平衡态及状态方程

### 四. 理想气体状态方程

1. 平衡态下，质量为M的理想气体状态方程：  

$$pV = \nu RT = \frac{M}{\mu} RT$$

$$p = nk_B T \quad R = k_B N_A$$

$\nu$ —气体的摩尔数；  
 $\mu$ —气体的摩尔质量  
 $n$ —分子数密度  
 $R$ —普适气体常数  
 $k_B$ —玻尔兹曼常数
2. 混合理想气体的总压强等于各气体的分压强之和。  

$$p = \sum_i p_i$$
 — Dalton分压定律  
分压强：每一种气体在与混合气体具有相同的温度和体积的条件下，单独产生的压强。

4

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

沈 喆 2009.12

## 热学第一章 热力学系统的平衡态及状态方程

### 五. 理想气体的压强公式

$$p = \frac{1}{3} nm \bar{v}^2 \quad \text{或} \quad p = \frac{2}{3} n \bar{\epsilon}$$

$\bar{\epsilon} = m \bar{v}^2 / 2$  表示分子平均平动动能

### 六. 理想气体的温度公式

$$\bar{\epsilon} = \frac{3}{2} k_B T \quad \text{或} \quad T = \frac{2}{3 k_B} \bar{\epsilon}$$

### 七. 范德瓦耳斯方程

1mol 气体：
$$\left(p + \frac{a}{V_m^2}\right)(V_m - b) = RT$$

5

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

沈 喆 2009.12

## 热学第二章 热平衡态的统计分布律

### 热学第二章 热平衡态的统计分布律

#### 一. 统计规律与分布函数的概念

1. 气体分子热运动模型的图象  
• 相当稀疏 • 碰撞频繁 • 整体行为服从统计规律
2. 随机变量与分布函数  
随机变量X的概率分布函数：
$$f(x) = \frac{dP}{dx} = \frac{1}{N} \frac{dN}{dx}$$
  
随机变量出现在x处单位区间内的概率  

$$\int f(x) dx = 1$$
  
概率分布函数具有归一性：  
随机变量取x-x+dx内的数值的概率： $dP = f(x) dx$

6

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

热学第二章 热平衡态的统计分布律

随机变量 $x$ 的平均值:  $\bar{x} = \int x f(x) dx$

对任意物理量 $G=G(x)$ , 其平均值:  $\bar{G} = \int G(x) f(x) dx$

二. 平衡态下气体分子速率分布函数

$f(v) = \frac{dN_v}{N dv}$  为 $v$ 附近单位速率间隔内的分子数占分子总数的百分比

1. Maxwell速率分布律  $f(v) = 4\pi \left( \frac{m}{2\pi k_B T} \right)^{3/2} v^2 e^{-mv^2/2k_B T}$

$\int_0^\infty f(v) dv = 1 \Rightarrow$  归一化条件

速率 $v_1 \sim v_2$ 区间的分子数:  $\Delta N_{v_1 \sim v_2} = N \int_{v_1}^{v_2} f(v) dv$

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

热学第二章 热平衡态的统计分布律

2. 麦克斯韦速率分布曲线

不同气体, 不同温度下的速率分布曲线的关系

①  $m$  一定,  $T$  越大,  $v_p$  越大,

②  $T$  一定,  $m$  越大,  $v_p$  越小, 这时曲线向左移动

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

热学第二章 热平衡态的统计分布律

3. 分子速率的三种统计平均值

平均速率  $\bar{v} = \sqrt{\frac{8k_B T}{\pi m}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi \mu}} = 1.59 \sqrt{\frac{RT}{\mu}}$

方均根速率  $\sqrt{v^2} = \sqrt{\frac{3k_B T}{m}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} = 1.73 \sqrt{\frac{RT}{\mu}}$

最概然速率  $v_p = \sqrt{\frac{2k_B T}{m}} = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}} = 1.41 \sqrt{\frac{RT}{\mu}}$

$\sqrt{v^2} > \bar{v} > v_p$

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

热学第二章 热平衡态的统计分布律

三. Boltzmann分布律

1. 重力场中粒子按高度的分布

$n = n_0 e^{-\frac{mgh}{k_B T}}$   $p = p_0 e^{-\frac{mgh}{k_B T}}$  — 等温气压公式

其中:  $p_0 = n_0 k_B T$  是  $h=0$  处气体的压强

2. Boltzmann分布律

$n = n_0 e^{-\epsilon_p/k_B T}$

四. 能量均分定理与热容

1. 分子自由度

自由度: 确定一个物体在空间中的位置 (形态) 所需要的独立坐标的数目

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

热学第二章 热平衡态的统计分布律

气体分子:

“常温”下气体分子一般采用刚性模型:

单原子分子自由度=3;

双原子分子自由度=5

非直线多原子分子自由度=6

“高温”下振动模式及能量不可忽略

单原子分子自由度=3;

双原子分子自由度=6

非直线三原子分子自由度=9

$N$ 个原子组成的分子 总自由度=  $3N$ , 其中分子整体平动自由度=3, 整体转动自由度=3, 振动自由度=  $3N - 6$

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

热学第二章 热平衡态的统计分布律

2. 能量均分定理

在温度为 $T$ 的热平衡态下, 物质 (气体, 液体和固体) 分子的每个自由度都具有相同的平均动能:  $1/2 k_B T$

若某种气体分子具有 $t$ 个平动自由度和 $r$ 个转动自由度,  $s$ 个振动自由度,

平均总动能为:  $\bar{\epsilon_k} = \frac{1}{2} (t + r + s) k_B T$

平均振动势能:  $\frac{s}{2} k_B T$

平均热运动总能量:  $\bar{\epsilon} = \frac{1}{2} (t + r + 2s) k_B T$

令  $i = t + r + 2s$

$\bar{\epsilon} = \frac{i}{2} k_B T$

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

热学第二章 热平衡态的统计分布律

3. 理想气体的内能  
若系统内有 $N$ 个分子 ( $m, i$ ),  $i = t + r + 2s$

$$U = N\bar{\epsilon} = N \frac{1}{2} i k_B T = \nu \frac{i}{2} RT$$

1mol 理想气体的内能为  $U_0 = N_A \frac{i}{2} k_B T = \frac{i}{2} RT$

4. 理想气体的摩尔热容

定体摩尔热容:  $C_V = \left( \frac{\partial U}{\partial T} \right)_V = \left( \frac{\partial U}{\partial T} \right)_V = \frac{i}{2} R$

定压摩尔热容:  $C_P = \frac{i+2}{2} R$

13

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

热学第二章 热平衡态的统计分布律

迈耶公式:  $C_P = C_V + R$

比热容比 (泊松比 poisson's ratio):  $\gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{i+2}{i} > 1$

刚性理想气体分子:

单原子分子:  $i = 3, \bar{\epsilon} = \frac{3}{2} k_B T, C_V = \frac{3}{2} R, \gamma = 1.67$   
 $t = 3, r = s = 0$

刚性双原子分子:  $i = 5, \bar{\epsilon} = \frac{5}{2} k_B T, C_V = \frac{5}{2} R, \gamma = 1.40$   
 $t = 3, r = 2, s = 0$

刚性多原子分子:  $i = 6, \bar{\epsilon} = 3 k_B T, C_V = 3R, \gamma = 1.33$   
 $t = 3, r = 3, s = 0$

14

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

热学第三章 近平衡态中的输运过程

热学第三章 近平衡态中的输运过程

一. 近平衡态中的输运过程

黏性现象, 热传导现象和扩散现象三种迁移现象都具有完全相似的形式.

黏性现象——动量迁移  
热传导现象——能量迁移  
扩散现象——质量迁移

二. 气体分子的平均碰撞频率和平均自由程

碰撞频率:  $\bar{Z} = \sqrt{2} n \bar{v}$

平均自由程:  $\bar{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{2} n \bar{v}}$   $\bar{\lambda} = \frac{k_B T}{\sqrt{2} p}$

15

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

热学第四章 热力学第一定律

热学第四章 热力学第一定律

一. 热力学过程与准静态过程

1. 热力学过程

系统和外界有能量交换时, 系统的状态会发生变化, 从一个状态不断变化到另一个状态, 经历一个热力学过程.

2. 准静态过程

系统从一种状态变化到另一种状态所经历的过程中的每一中间状态都无限接近平衡态—准静态过程 (平衡过程).

16

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

热学第四章 热力学第一定律

热学第四章 热力学第一定律

二. 热力学第一定律

1. 功 $W$  准静态过程中外界对系统作

$$dW = -pSdx = -pdV$$

从状态I变化到状态II

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

热力学系统所作的功量值上等于 $p$ - $V$ 图中的准静态过程与 $V$ 轴在始末态间围成的面积.

•  $W > 0$ , 外界对系统作正功; 系统对外界作负功.  
•  $W < 0$ , 外界对系统作负功. 系统对外界作正功.  
• 做功与路径有关! 过程量.

17

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

热学第四章 热力学第一定律

热学第四章 热力学第一定律

2. 热量 $Q$  热传递过程中能量转移多少的量度

约定: 系统吸热为正, 系统放热为负.

• 热量是过程量

3. 热力学第一定律

对任一热力学系统, 从状态I变化到状态II的任一过程中, 外界对系统作功 $W$ 和外界传递给系统的热量 $Q$ 之和等于系统内能的增量.

$$W + Q = \Delta U$$

微分形式:  $dU = dW + dQ$

• 等价表述: 第一类永动机是不可能造成的.

18

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

热学第四章 热力学第一定律

三. 热力学第一定律对理想气体过程的应用  
参考教材P151表, 要掌握并会应用.

四. 循环过程和卡诺循环

1. 循环过程的概念、性质和效率

循环过程系统从初始状态出发经一系列变化, 又回到初始状态整个过程称循环过程.

能量关系  $\Delta U = 0$   $Q = -W$

过程图线: 在  $P-V$  图上过程曲线为闭合曲线

顺时针: 正循环  $W < 0$   $Q_{\text{吸}} = |W| + |Q_{\text{放}}|$  热  $\rightarrow$  功: 热机  
逆时针: 逆循环  $W > 0$   $Q_{\text{吸}} + W = |Q_{\text{放}}|$  功  $\rightarrow$  热: 制冷机

19

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

热学第四章 热力学第一定律

循环效率

1) 热机效率  
在一正循环中, 系统从高温热源吸热  $Q_{\text{吸}}$ , 向低温热源放热  $|Q_{\text{放}}|$  ( $Q_{\text{放}} < 0$ ), 系统对外作功  $W' = Q_{\text{吸}} - |Q_{\text{放}}|$ , 定义效率:

$\eta = \frac{W'}{Q_{\text{吸}}} = 1 - \frac{|Q_{\text{放}}|}{Q_{\text{吸}}}$  净功与吸热之比

2) 制冷系数  
在一逆循环中, 系统从低温热源吸热  $Q_{\text{吸}}$ , 外界对系统作功  $W$ , 定义制冷系数:

$w = \frac{Q_{\text{吸}}}{W} = \frac{Q_{\text{吸}}}{|Q_{\text{放}}| - Q_{\text{吸}}}$

20

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

热学第四章 热力学第一定律

2. 理想气体的卡诺循环及其效率

卡诺循环在一循环中, 系统只和高温热源 ( $T_1$ ) 与低温热源 (温度  $T_2$ ) 交换热量.

循环效率:  $\eta = \frac{W}{Q_1} = 1 - \frac{|Q_2|}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$

制冷系数:  $w = \frac{Q_{\text{吸}}}{W} = \frac{Q_2}{|Q_1| - Q_2} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$

掌握循环效率和制冷系数的计算

21

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

热学第五章 热力学第二定律和第三定律

热学第五章 热力学第二定律和第三定律

一. 可逆与不可逆过程

可逆过程: 若系统经历了一个过程, 而过程的每一步都可沿相反的方向进行, 同时不引起外界的任何变化, 那么这个过程就称为可逆过程.

不可逆过程: 如对于某一过程, 用任何方法都不能使系统和外界恢复到原来状态, 该过程就是不可逆过程

自发过程: 自然界中不受外界影响而能够自动发生的过程.

不平衡和耗散等因素的存在, 是导致过程不可逆的原因.

无摩擦的准静态过程是可逆过程 (理想过程)

22

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

热学第五章 热力学第二定律和第三定律

二. 热力学第二定律的两种语言表述

克劳修斯表述: 热量不能自动地由低温物体传向高温物体.

开尔文表述: 其唯一效果是热全部变为功的过程是不可能发生的.

开尔文表述与克劳修斯表述的等价性

三. 热力学第二定律的数学表述和熵增加原理

1. 克劳修斯不等式

$\oint \frac{dQ}{T} \leq 0$  =, 可逆过程, 克劳修斯等式.  
<, 不可逆过程, 克劳修斯不等式.

——热力学第二定律的一种数学表述形式

23

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

热学第五章 热力学第二定律和第三定律

2. 熵的概念

定义熵: 当系统由平衡态1过渡到平衡态2时, 其熵的增量等于系统沿任何可逆过程由状态1到状态2的  $dQ/T$  的积分:

$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_{1(\text{可逆})}^2 \frac{dQ}{T}$

$\int_{1 \rightarrow 2} \frac{dQ}{T} \leq S_2 - S_1$  =, 可逆过程,  
<, 不可逆过程.

——热力学第二定律的数学表述的积分形式

对无穷小过程  $dS \geq \frac{dQ}{T}$  =, 可逆过程,  
>, 不可逆过程.

——热力学第二定律的数学表述的微分形式

24

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

热学第五章 热力学第二定律和第三定律

3. 熵变的计算

⇒ 当给定系统的始、末状态求熵增时，可任选(或：拟定)一个可逆过程来计算。

计算熵变的步骤：

- (1) 选定系统
- (2) 确定状态 (始、末态及其参量)
- (3) 拟定过程 (可逆过程)

1mol 理想气体由状态1( $P_1V_1T_1$ )变到状态 2( $P_2V_2T_2$ )  
→ 熵增量

$$\Delta S = C_V \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{V_2}{V_1}$$

25

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

热学第五章 热力学第二定律和第三定律

4. 熵增加原理 (热二量化)

熵增加原理：孤立的封闭系统中的任何不可逆过程均导致系统的熵增加；熵只有对孤立系统的可逆过程才是不变的。

“封闭的孤立系统的熵永不会减少”

$\Delta S \geq 0$  — 热力学第二定律的数学表示

自然过程进行的方向 — 熵增加的方向

四. 熵及热力学第二定律的统计意义

1. 微观熵 — 玻尔兹曼熵

热力学几率  $\Omega$ ：热力学系统的任一宏观态所对应的微观态数

玻尔兹曼熵公式：  $S = k_B \ln \Omega$

26

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

热学第五章 热力学第二定律和第三定律

2. 克劳修斯熵与玻尔兹曼熵的关系

克劳修斯熵与玻尔兹曼熵完全等价：

$$S_C = S_B = k_B \ln \Omega$$

3. 热力学第二定律的统计意义

一个不受外界影响的孤立系统，其内部发生的过程，总是由热力学几率  $\Omega$  小的状态向热力学几率大的状态方向进行；由对应微观状态数目  $\Omega$  少的宏观态向对应微观状态数目多的宏观态过渡。

27

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

热学第五章 热力学第二定律和第三定律

五. 热力学第二定律的应用举例

1. 卡诺定理

1) 工作于两个热源 ( $T_1, T_2$ ) 之间的一切可逆机，不论工作物质如何，它们的效率相同，都等于：

$$\eta = 1 - (T_2/T_1)$$

2) 工作于两个热源 ( $T_1, T_2$ ) 之间的一切不可逆机，不论工作物质如何，它们的效率都不可能大于可逆机的效率：

$$\eta < 1 - (T_2/T_1)$$

2. 热力学温标的建立

28

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

光学第一章 光学导言

光学第一章 光学导言

一. 光学发展简史

二. 光的电磁特性、波动的数学描述

1. 光速

真空中： $c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$

均匀介质中： $v = 1/\sqrt{\epsilon_0 \mu_0 \epsilon_r \mu_r}$

⇒ 介质中： $v = \frac{c}{\sqrt{\mu_r \epsilon_r}} = \frac{c}{n}$

折射率： $n \equiv \frac{c}{v} = \sqrt{\epsilon_r \mu_r}$

29

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

光学第一章 光学导言

2. 光矢量光强 (辐照度)

$\vec{E} \equiv$  光矢量

光的平均能流密度：单位时间内通过垂直于光的传播方向的单位面积上的 (时间) 平均光能。  $I \propto E_0^2$

3. 波的数学描述

一维简谐波：

$U = A \cos \left[ \omega \left( t - \frac{x}{v} \right) + \phi \right] = A \cos (\omega t - kx + \phi)$

光矢量  $\omega$  角频率  $k$  波数  $A$  振幅  $\phi$  初相位

三维简谐波： $U = A \cos (\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r} + \phi)$

波矢： $\vec{k} = \frac{2\pi}{\lambda} \vec{n}$   $\vec{n}$  — 波的传播方向

30

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

光学第一章 光学导言 沈 喆 2009.12

### 三. 费马原理——光传播的普遍原理

1. 光程  $L = nr$   
 $n$ —媒质折射率,  $r$ —光在媒质中传播的距离

光程是光的等效真空路程, 在相位改变相同或传播时间相等的条件下, 光在媒质中传播路程  $r$  等效于光在真空中传播的路程  $nr$ .

2. 光程差与相位差  
 光程差:  $\Delta = L_2 - L_1$   
 相位差和光程差的关系:  $\Delta\varphi = -\frac{\Delta}{\lambda} 2\pi$

31

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

光学第一章 光学导言 沈 喆 2009.12

### 3. 费马原理

光从空间一点传播到另一点是沿着光程为极值的路径传播的。

极值可以是极小、极大或稳定值  
 光的直线传播定律、反射定律、折射定律

4. (近轴)薄透镜的等光程性  
 近轴薄透镜不产生附加的光程差

32

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

光学第二章 光的干涉 沈 喆 2009.12

## 光学第二章 光的干涉

### 一. 光波的叠加和干涉

1. 普通光源的光: 总体而言是由许多波列叠加而成, 波列具有一定的频率分布, 任一波列的振向, 初相都是“随机”的——自然光源不是相干光源。

2. 相干光的获得  
 1) 分波面法 2) 分振幅法 3) 激光

### 二. 杨氏干涉实验——分波前干涉

光程差:  $\Delta = r_2 - r_1 \approx d \sin \theta \approx d \cdot \frac{x}{D}$

33

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

光学第二章 光的干涉 沈 喆 2009.12

### 明纹位置 $\Delta = k\lambda$ $x = k \frac{D}{d} \lambda$ $k = 0, \pm 1, \pm 2 \dots$

### 暗纹位置 $\Delta = (2k+1) \frac{\lambda}{2}$ $x = (2k+1) \frac{D}{2d} \lambda$

### 条纹间距: $\Delta x = \frac{D}{d} \lambda$

### 三. 其他分波前干涉装置——劳埃德镜

光从光疏介质到光密介质的反射存在半波损失  
 半波程差: 光波从光疏介质向光密介质表面掠入射时, 反射过程中的反射光的相位变化  $\pi$ , 相当于光多走了半个波长。

34

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

光学第二章 光的干涉 沈 喆 2009.12

### 四. 薄膜干涉——分振幅干涉

1. 等倾干涉

$$\Delta = 2n_2 h \cos \gamma \pm \frac{\lambda}{2}$$

各点光源发出入射角相同的光线  $\Rightarrow$  聚焦同一条纹。即倾角  $i$  相同的光线对应同一条干涉条纹——等倾条纹。

1) 干涉条纹的形状: 一系列同心圆环  
 2) 干涉条纹的级次  $k$  分布  
 $\gamma \downarrow \rightarrow k \uparrow$  中心处级次最大;  $\gamma \uparrow \rightarrow k \downarrow$  外沿级次逐渐降低  
 3) 干涉条纹的间距 内疏外密  
 中心  $\rightarrow \gamma$  小  $\rightarrow d\gamma$  大; 边缘  $\rightarrow \gamma$  大  $\rightarrow d\gamma$  小

35

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

光学第二章 光的干涉 沈 喆 2009.12

### 2. 等厚干涉

1) 劈尖干涉

空气劈尖  $\Delta = 2n_2 h + \frac{\lambda}{2} = 2h + \frac{\lambda}{2}$

明纹位置:  $h = \left(k - \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{2}$   $k = 1, 2, 3, \dots$

暗纹位置:  $h = k \frac{\lambda}{2}$   $k = 0, 1, 2, \dots$

$$\Delta h = h_{k+1} - h_k = \frac{\lambda}{2}$$

$$a = \frac{\Delta h}{\sin \theta} = \frac{\lambda}{2 \sin \theta}$$

36

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

光学第二章 光的干涉 沈 喆 2009.12

(1)干涉条纹的形状: 线条状  
(2)干涉条纹的级次 $k$ 分布: 靠棱边 $\rightarrow k$ 小; 远离棱边 $\rightarrow k$ 大.  
(3)相邻亮纹或相邻暗纹之间的厚度差  $\Delta h = \frac{\lambda}{2n_2} = \frac{\lambda}{2}$   
(4)玻璃板平行上移, 条纹向棱边移动.  
(5)增大  $\theta$ , 条纹也向棱边移动.  
•关于反射时 $\Delta$ 的计算  
1)  $n_1 > n_2$  且  $n_3 > n_2$  或  $n_1 < n_2$  且  $n_3 < n_2$   
$$\Delta(h) = 2n_2h + \frac{\lambda}{2} \quad \text{边缘} h=0 \text{ 处为暗纹}$$
  
2)  $n_1 > n_2 > n_3$  或  $n_1 < n_2 < n_3$   
$$\Delta(h) = 2n_2h \quad \text{边缘} h=0 \text{ 处为明纹}$$

37

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

光学第二章 光的干涉 沈 喆 2009.12

2) 牛顿环  $\Delta = 2h + \lambda/2$   
明环:  $r_k = \sqrt{\left(k - \frac{1}{2}\right)R\lambda} \quad k = 1, 2, 3$   
暗环:  $r_k = \sqrt{kR\lambda} \propto \sqrt{k} \quad k = 0, 1, 2, \dots$   
相邻条纹间距:  
$$\Delta r = r_{k+1} - r_k = \frac{\lambda R}{r_{k+1} + r_k} \approx \frac{\lambda R}{2r_k} \propto \frac{1}{r} \Rightarrow \text{内疏外密的同心圆环, 中心恒暗}(k=0)$$
  
干涉条纹的移动: 当上凸形玻璃板平行上移时, 条纹环向中心陷入. 因为第 $k$ 级条纹环对应的厚度 $d_k$ 是确定的.

38

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

光学第二章 光的干涉 沈 喆 2009.12

五. 薄膜干涉应用举例  
1. 检验工件表面平整度  
膜厚 $h$ 相同的连线 $\rightarrow$ 同级条纹  
向右扭曲 $\rightarrow$ 凸起  
向左扭曲 $\rightarrow$ 凹进  
等厚条纹  
平晶  
待测工件  
第 $k$ 级条纹  
等厚条纹  
平晶  
待测工件  
第 $k$ 级条纹  
2. 测定涉及长度的一些量  
测细丝的直径; 测透镜的曲率半径; 测膜的厚度;  
测劈尖的微小劈角...

39

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

光学第二章 光的干涉 沈 喆 2009.12

3. 增透膜 增反膜  
•反射光相消, 透射光极大 $\rightarrow$ 增透膜  
$$\Delta = 2n_2h = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$$
  
$$\Rightarrow h = (2k+1)\frac{\lambda}{4n_2} \quad k = 0, 1, 2, \dots$$
  
•透射光相消, 反射光极大 $\rightarrow$ 增反膜  
六. 迈克耳孙干涉仪  
1. 仪器结构、光路  
2. 工作原理  
3. 应用

40

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

光学第三章 光的衍射 沈 喆 2009.12

光学第三章 光的衍射  
一. 惠更斯-菲涅耳原理  
波传到任何一点都是子波的波源, 各子波在空间某点的相干叠加, 就决定了该点波的强度.  
二. 夫琅禾费单缝衍射  
强度分布:  $I = I_0 \frac{\sin^2 \beta}{\beta^2} \quad \beta = \frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta$   
暗纹位置:  $\sin \theta = k \frac{\lambda}{b}; \quad x = k \frac{f\lambda}{b} \quad k = \pm 1, \pm 2, \dots$   
亮纹位置:  $\sin \theta = 0, \pm 1.430 \frac{\lambda}{b}, \pm 2.459 \frac{\lambda}{b}, \pm 3.471 \frac{\lambda}{b}, \dots$   
 $x = 0, \pm 1.430 \frac{f\lambda}{b}, \pm 2.459 \frac{f\lambda}{b}, \pm 3.471 \frac{f\lambda}{b}, \dots$

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

光学第三章 光的衍射 沈 喆 2009.12

主极大条纹宽度 $\rightarrow 2\Delta\theta = 2\frac{\lambda}{b}, 2\Delta x_0 = 2\frac{f\lambda}{b}$   
次极大条纹宽度 $\rightarrow \Delta\theta = \frac{\lambda}{b}, \quad \Delta x = \frac{f\lambda}{b}$   
相邻暗纹间距:  $\Delta\theta = \frac{\lambda}{b}, \quad \Delta x = \frac{f\lambda}{b}$   
三. 夫琅禾费圆孔衍射和光学仪器的分辨本领  
1. 夫琅禾费圆孔衍射  
$$\sin \theta = 1.22 \frac{\lambda}{d}$$

42

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY  
光学第三章 光的衍射  
沈喆 2009.12

2. 光学仪器的分辨本领

1) 瑞利判据和最小分辨角

点光源中央衍射亮斑中心恰好与另一点光源的第一衍射极小(暗纹)相重合.

最小分辨角:  $\varphi_{\min} = 1.22 \frac{\lambda}{d}$

2) 分辨本领(分辨率)

$\eta \equiv \frac{1}{\varphi_{\min}} = \frac{d}{1.22\lambda}$   $\left. \begin{matrix} d \uparrow \\ \lambda \downarrow \end{matrix} \right\} \rightarrow \eta \uparrow$

43

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY  
光学第三章 光的衍射  
沈喆 2009.12

四. 衍射光栅

1. 光栅常数  $d=a+b$

2. 光栅方程  $d \sin \theta = k\lambda$   $k=0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$

3. 暗条纹位置  $Nd \sin \theta = m\lambda$   $m \neq kN$

相邻主极大间有N-1个极小值; 在两相邻暗纹间有一个次极大, 故相邻主极大间有N-2个次极大值.

4. 明纹缺级  $k' = \frac{d}{b}n = \frac{a+b}{b}n$

$\therefore \theta \leq \frac{\pi}{2}$  —通常的观察范围  $\therefore$  存在  $k_{\max}$

$d \sin \theta = k\lambda$   $k < \frac{d}{\lambda} \rightarrow k_{\max}$

44

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY  
光学第三章 光的衍射  
沈喆 2009.12

五. X射线衍射

1. 布拉格公式  $2d \cdot \sin \alpha = k\lambda$  ( $k=1, 2, \dots$ )

2. 实际观察X射线衍射的方法

- ◆劳厄法→测量单晶
- ◆德拜法→测量多晶

45

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY  
光学第四章 光的偏振  
沈喆 2009.12

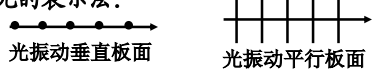
光学第四章 光的偏振

一. 自然光和偏振光

1. 线偏振光

光矢量只在一个固定平面内沿一个固定方向振动的光


线偏振光的表示法:



光振动垂直板面      光振动平行板面

2. 自然光

振向各向机会均等—E的取向随机, 各方向上的振幅相同.

自然光的表示法: 

46

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY  
光学第四章 光的偏振  
沈喆 2009.12

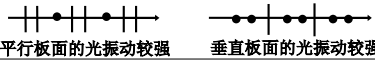
一束自然光可分解为两束振动方向相互垂直的、等幅的、不相干的线偏振光.

$\bar{E}_x = \bar{E}_y$   $I = I_x + I_y$

3. 部分偏振光

彼此无固定相位关系, 振动方向任意, 不同方向上振幅不同的大量光振动的组合.

部分偏振光的表示法:



平行板面的光振动较强      垂直板面的光振动较强

部分偏振光可分解为两束振动方向相互垂直的、不等幅的、不相干的线偏振光.

47

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY  
光学第四章 光的偏振  
沈喆 2009.12

4. 圆偏振光 椭圆偏振光

光矢量方向、大小→周期性变化  
迎着传播方向(z轴方向)看→矢量端点→圆或椭圆→  
振动方向相互垂直的两个线偏振光合成可实现椭圆偏振光

二. 起偏振器与检偏振器 马吕斯定律

1. 起偏—从自然光获得偏振光  $I = \frac{1}{2}I_0$

2. 检偏—用偏振器件分析、检验光的偏振态

3. 马吕斯定律

强度为  $I_0$  的偏振光通过检偏器后, 透射光的强度为:

$I = I_0 \cos^2 \alpha$   $\alpha$  为偏振光的振动方向与检偏器的起偏振方向的夹角.

48



北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

光学第四章 光的偏振 沈 喆 2009.12

### 三. 反射和折射时的偏振

#### 1. 反射光和折射光的偏振

自然光入射到两种媒质的界面时, 发生反射、折射, 一般情况下它们都是部分偏振光.

- 反射光垂直入射面的分量比例大,
- 折射光平行入射面的分量比例大.

#### 2. 布儒斯特定律

当  $i = i_B$  时, 反射光为完全偏振光. 光矢量垂直于入射面

$i_B$  — 布儒斯特角或 起偏角

$$\tan i_B = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$$

49

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

光学第四章 光的偏振 沈 喆 2009.12

### 四. 双折射现象

#### 1. 双折射现象: 各向异性晶体中, 各方向波速不同, 一束入射光对应二束折射光

- $o$ 光满足折射定律— 寻常光;
- $e$ 光不满足折射定律— 非常光.
- $o$ 光和 $e$ 光均为线偏振光

#### 2. 晶体的光轴、主平面、主截面

晶体的光轴: 当光在晶体内沿某个特殊方向传播时不发生双折射, 该方向称为晶体的光轴.

主平面: 晶体中光的传播方向与晶体光轴构成的平面

- $o$ 光振动矢量垂直于 $o$ 光主平面
- $e$ 光振动矢量平行于 $e$ 光主平面.

50

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

光学第四章 光的偏振 沈 喆 2009.12

### 3. 主截面: 晶面的法线与晶体光轴构成的平面。

若入射面与主截面重合 (入射线在主截面内)

⇒ 三面重合 ( $o$ 光主平面,  $e$ 光主平面, 主截面)

此时,  $o$ 光振动垂直于主截面;  $e$ 光振动平行于主截面

### 五. 惠更斯作图法 (见讲义和教材)

### 六. 波片和补偿器

#### 1. 波片: 光轴平行晶体表面波晶片

目的: 控制 $o, e$ 光间 $\Delta\varphi \Rightarrow$ 改变出光偏振状态

$o$ 光和 $e$ 光经过晶体后: 波片分类: 1/4波片 | 1/2波片 | 全波片

光程差为: $\Delta = (n_o - n_e)d$	$\Rightarrow$	$\Delta = \frac{\lambda}{4}$	$\Delta = \frac{\lambda}{2}$	$\Delta = \lambda$
相位差为: $\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}(n_o - n_e)d$	$\Rightarrow$	$\Delta\varphi = \frac{\pi}{2}$	$\Delta\varphi = \pi$	$\Delta\varphi = 2\pi$

#### 2. 补偿器: 任意改变光程差的器件(概念)

51

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

光学第四章 光的偏振 沈 喆 2009.12

### 3. 偏振光的检验

自然光 → 四分之一波片 → 自然光 → 偏振片(转动) → 线偏振光  $I$  不变

圆偏振光 → 四分之一波片 → 线偏振光 → 偏振片(转动) → 线偏振光  $I$  变, 有消光

部分偏振光 → 四分之一波片 → 部分偏振光 → 偏振片(转动) → 线偏振光  $I$  变, 无消光

椭圆偏振光 → 四分之一波片 → 线偏振光 → 偏振片(转动) → 线偏振光  $I$  变, 有消光

光轴平行最大光强或最小光强方向放置或光轴平行椭圆偏振光的长轴或短轴放置

52

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

光学第四章 光的偏振 沈 喆 2009.12

### 七. 偏振光的干涉

### 八. 人为双折射(概念)

### 九. 旋光性(概念)

53

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

第五章 相对论 沈 喆 2009.12

## 第五章 相对论

### 一. 狭义相对论以前的力学和时空观

#### 1. 力学相对性原理(伽利略相对性原理)

一切彼此作匀速直线运动的惯性系, 对于描写运动的力学规律来说是完全等价的.

#### 2. 绝对时空观

### 二. 狭义相对论基本原理

#### 1. 狭义相对性原理: 物理定律在一切惯性系中都取相同形式.

#### 2. 光速不变原理: 真空中的光速相对于任何惯性系沿任一方向恒为 $c$ , 并与光源运动无关.

54

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

第五章 相对论

三. 洛伦兹变换

正变换  $\beta \equiv \frac{v}{c}$  逆变换

$$\begin{cases} x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \beta^2}} \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - \beta^2}} \end{cases} \quad \begin{cases} x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - \beta^2}} \\ y = y' \\ z = z' \\ t = \frac{t' + \frac{v}{c^2}x'}{\sqrt{1 - \beta^2}} \end{cases}$$

55

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

第五章 相对论

四. 相对论的时空观

1. 同时性的相对性
2. 长度的相对性(长度收缩效应)
 
$$l = l_0 \sqrt{1 - \beta^2} \quad l < l_0$$
3. 时间的相对性
 
$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \beta^2}} \quad \tau > \tau_0$$

56

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

第五章 相对论

五. 相对论速度变换公式

$$\begin{cases} u'_x = \frac{u_x - v}{1 - \frac{v}{c^2}u_x} \\ u'_y = \frac{u_y \sqrt{1 - \beta^2}}{1 - \frac{v}{c^2}u_x} \\ u'_z = \frac{u_z \sqrt{1 - \beta^2}}{1 - \frac{v}{c^2}u_x} \end{cases} \quad \begin{cases} u_x = \frac{u'_x + v}{1 + \frac{v}{c^2}u'_x} \\ u_y = \frac{u'_y \sqrt{1 - \beta^2}}{1 + \frac{v}{c^2}u'_x} \\ u_z = \frac{u'_z \sqrt{1 - \beta^2}}{1 + \frac{v}{c^2}u'_x} \end{cases}$$

57

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

第五章 相对论

六. 狭义相对论中的质量、能量和动量

1. 质量(质速关系)
 
$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad v \text{ --- 物体运动速度}$$
2. 动量  $\vec{p} = \frac{m_0 \vec{v}}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} \quad \vec{p} = m \vec{v}$
3. 相对论质能关系式  $E = mc^2$   
动能  $E_k = mc^2 - m_0 c^2$
4. 动量能量关系式  $E^2 = p^2 c^2 + m_0^2 c^4$

58

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

第六章量子物理基础

一. 黑体辐射和普朗克的量子假设

1. 热辐射
 

物体释放能量的一种形式. 分子包含带电粒子, 分子的热运动使物体辐射电磁波. 任一物体在任一温度下随时都在发射电磁波. 这种辐射与温度有关, 称为热辐射.
2. 绝对黑体的辐射规律
 

绝对黑体模型: 在任何温度下能完全吸收各种波长电磁波而无反射的物体.

59

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

第六章量子物理基础

- 1) 斯特藩-玻尔兹曼定律
 

黑体的总辐射本领与绝对温度的四次方成正比

$$E_0(T) = \sigma T^4$$
- 2) 维恩位移定律
 

在任何绝对温度T下, 黑体辐射本领的峰值波长  $\lambda_m$  与T成反比即:

$$\lambda_m T = b$$
3. 普朗克量子假设
 

物体可看成由带电的谐振子组成. 这些谐振子的能量是取分立值. 物体辐射或吸收的能量是不连续的, 只能取一定能量单元(能量子)的整数倍. 能量子的大小与频率成正比. 即:

60

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

第六章量子物理基础 沈 喆 2009.12

$\varepsilon_0 = h\nu$  --- 量子

普朗克黑体辐射理论公式为:

$$r_0(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/kT\lambda} - 1}$$

二. 光电效应和爱因斯坦的光子理论

1. 光电效应实验规律 (4)
2. 爱因斯坦光子理论

1) 爱因斯坦假定

光子理论: 不仅在发射和吸收时, 光的能量是一份一份的, 而且光本身就是由一个个集中存在的、不可分割的能量子组成, 其能量为  $h\nu$ .

61

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

第六章量子物理基础 沈 喆 2009.12

2) 对光电效应的解释

爱因斯坦方程  $h\nu = \frac{1}{2}mv^2 + A$

遏止电压  $U_0$   $h\nu = \frac{1}{2}mv^2 + A = eU_0 + A$

截止频率  $\nu_0$  (红限)  $\nu_0 = A/h$  (红限)

三. 康普顿效应

1. 康普顿效应实验规律 (3)
2. 光子理论解释

$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 = \frac{2h}{m_0c} \sin^2 \frac{\theta}{2} = 2\lambda_c \sin^2 \frac{\theta}{2}$$

62

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

第六章量子物理基础 沈 喆 2009.12

3. 光的波粒二象性

$$\begin{aligned} \varepsilon &= h\nu \\ p &= \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda} \\ m &= \frac{\varepsilon}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2} = \frac{h}{c\lambda} \end{aligned}$$

四. 玻尔的氢原子理论

1. 氢原子光谱规律 (3)

广义巴耳末公式:  $\tilde{\nu} = \frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad m < n$

$$R_H = \frac{4}{B} = 1.0967758 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$$

63

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

第六章量子物理基础 沈 喆 2009.12

2. 玻尔的氢原子理论

玻尔三个基本假设:

- 1) 定态假设: 原子系统只能具有一系列不连续的能量确定的稳定状态, 称为定态, 处于这些状态的电子运动时不向外辐射电磁波。
- 2) 跃迁假设: 原子从  $E_n$  高能定态跃迁到  $E_m$  低能定态时辐射出一个光子, 其辐射频率公式

$$\nu_{nm} = \frac{|E_n - E_m|}{h} = \frac{c}{\lambda_{nm}}$$

- 3) 量子化条件: 定态电子绕核圆周运动的角动量量子化

$$mvr = n\hbar, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad \hbar = \frac{h}{2\pi}$$

64

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

第六章量子物理基础 沈 喆 2009.12

轨道半径  $r_n = n^2 \left( \frac{\varepsilon_0 h^2}{\pi m e^2} \right) = n^2 r_1$

$$r_1 = \frac{\varepsilon_0 h^2}{\pi m e^2} = 0.53 \text{ \AA} \quad \text{--- 氢原子的第一玻尔轨道半径}$$

能级图  $E_n = -\frac{1}{n^2} \left( \frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^2} \right) = \frac{1}{n^2} E_1$

$$E_1 = -\frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^2} \approx -13.6 \text{ eV} \quad \text{--- 氢原子基态能级}$$

$$R_{H\text{理论}} = \frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^3 c} = 1.0973731 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$$

65

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

第六章量子物理基础 沈 喆 2009.12

五. 微观粒子的波动性

1. 德布罗意物质波假设

实物粒子与光子一样, 也具有波粒二象性, 其能量  $E$  和动量  $p$  与它相联系的波的频率  $\nu$  和波长  $\lambda$  的关系同光子的一样:

能量:  $E = h\nu$  或  $E = \hbar\omega$

动量:  $p = h/\lambda$  或  $\vec{p} = \hbar\vec{k}$

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m_0 v} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad \nu = \frac{E}{h} = \frac{m_0 c^2}{h \sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

--- 德布罗意关系式

2. 实验验证

66

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

第六章 量子物理基础

沈 喆 2009.12

### 六. 波粒二象性分析

### 七. 不确定关系

- 坐标和动量的不确定关系
 
$$\Delta x \Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2}; \quad \Delta y \Delta p_y \geq \frac{\hbar}{2}; \quad \Delta z \Delta p_z \geq \frac{\hbar}{2}$$
- 能量和时间的不确定关系
 
$$\Delta E \Delta t \geq \hbar$$

### 八. 波函数和概率幅

- 波函数的统计诠释
 

物质波的实质是一种几率波，并不是指微观粒子以波的形式在空间运动，而是指粒子在空间出现的几率分布服从波的规律。

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

第六章 量子物理基础

沈 喆 2009.12

描述粒子运动状态的波函数  $\psi(x, y, z, t)$ ，则

$\psi \psi^*$  = 概率密度

表示粒子在时刻  $t$ ,  $x, y, z$  附近单位体积内出现的概率。

波函数  $\psi$  代表微观粒子的概率波(概率幅)

- 对波函数的要求
 

有限、单值和连续、归一化

要会根据归一化确定波函数的待定系数
- 波函数的数学表达式
 

自由粒子的波函数的数学表达式

$$\psi(\vec{r}, t) = A e^{\frac{i}{\hbar}(\vec{p} \cdot \vec{r} - Et)} = A e^{i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t)}$$

68

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

第六章 量子物理基础

沈 喆 2009.12

### 九. 薛定谔方程

低速 微观粒子

$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \psi + U \psi$$

定态:  $-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \psi(\vec{r}) + U(\vec{r}) \psi(\vec{r}) = E \psi(\vec{r})$

### 十. 薛定谔方程应用举例

- 一维无限深方势阱
- 一维谐振子(不要求解方程, 理解概念)
- 势垒与隧道效应(不要求解方程, 理解概念)

69

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

第七章 原子和分子

沈 喆 2009.12

### 第七章 原子和分子

#### 一. 氢原子的能级和波函数

- 主量子数  $n$  —— 决定了氢原子系统的能量
 
$$E_n = -\frac{me^4}{2(4\pi\epsilon_0)^2 \hbar^2 n^2}$$

$$n = 1, 2, 3, \dots$$
- 角量子数  $l$  —— 决定了氢原子系统的角动量
 
$$L = \sqrt{l(l+1)}\hbar$$

$$l = 0, 1, 2, 3, \dots, n-1$$
 共  $n$  个
- 磁量子数  $m$  —— 决定了氢原子系统的角动量的  $z$  分量
 
$$L_z = m\hbar$$

$$m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots, \pm l$$
 共  $2l+1$  个

▲ 一个能级  $E_n$  对应的状态数为:  $\sum_{l=0}^{n-1} (2l+1) = n^2$

70

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

第七章 原子和分子

沈 喆 2009.12

### 二. 电子自旋

- Stern-Gerlach 实验
- 电子自旋
 

电子除了轨道运动外，还存在一种自旋运动，具有自旋角动量  $S$ ，其在外磁场方向的投影为  $S_z$  且满足:

$$\left. \begin{aligned} S &= \sqrt{s(s+1)}\hbar \\ S_z &= m_s \hbar \end{aligned} \right\} \text{--- 量子化}$$

其中  $s$  — 自旋量子数,  $m_s$  — 自旋磁量子数

$$s = \frac{1}{2} \quad m_s = \pm \frac{1}{2}$$

71

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

第七章 原子和分子

沈 喆 2009.12

### 三. 泡利原理和原子的电子壳层结构

- 原子中电子运动状态的描述及可能的状态数
 

原子中电子运动状态用四个量子数  $(n, l, m, m_s)$  来描述

  - 主量子数  $n$   $n = 1, 2, 3, \dots$ 

--- 决定了原子中电子总能量的主要部分和电子运动范围大小, 反映能量量子化特性。
  - 角量子数  $l$   $l = 0, 1, 2, 3, \dots, n-1$  共  $n$  个
 

--- 决定了电子绕核运动的角动量, 反映角动量量子化特性, 对电子能量也有影响。

72

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

第七章 原子和分子 沈 喆 2009.12

(3)磁量子数  $m$   $m=0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \pm l$  共  $2l+1$  个

---决定了电子绕核运动角动量的空间取向即角动量的空间量子化。

(4)自旋磁量子数  $m_s$   $m_s = \pm 1/2$  共 2 个

---决定了电子自旋角动量的空间取向,即自旋角动量的空间量子化,也影响原子在外磁场中的能量

电子自旋量子数  $s=1/2$  代表自旋角动量,对所有电子是相同的,不成为区别电子态的一个参数。

73

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

第七章 原子和分子 沈 喆 2009.12

2. 原子的电子壳层结构

壳层模型:多电子原子中电子的分布是分层次的:首先按主量子数不同分成不同主壳层( $K, L, M, \dots$ );在同一主壳层上,根据电子的角量子数不同又分成一些次壳层(或分壳层)( $s, p, d, f, \dots$ )——原子的壳层结构

(请注意主壳层和次壳层的字母表示与数字表示的对应关系)

3. Pauli不相容原理

一个原子中不能有两个或两个以上的电子处在完全相同的量子态。

或: 一个原子中任意两个电子都不可能具有一组完全相同的量子数( $n, l, m, m_s$ )。

74

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

第七章 原子和分子 沈 喆 2009.12

- $n$  给定时,  $l=0, 1, 2, \dots (n-1)$  可取共  $n$  个值;
- $n, l$  给定时,  $m$  可取共  $2l+1$  个值:  
 $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l$
- $n, l, m$  给定时,  $m_s$  可取两个值:  $m_s = \pm \frac{1}{2}$
- 所以角量子数为  $l$  的次壳层上最多可容纳的电子数为:  $2(2l+1)$
- 主量子数为  $n$  的主壳层上最多可容纳的电子数:  
$$\sum_{l=0}^{n-1} 2(2l+1) = \frac{2+2(2n-1)}{2} n = 2n^2$$

请注意要会根据各个量子数的取值规定判断原子可能取的状态

北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

第七章 原子和分子 沈 喆 2009.12

4. 能量最小原理

原子系统处于正常态时,各电子趋向占据最低能级。

各态能级大小的顺序由  $n+0.7l$  值决定即顺序是:

1s 2s 2p 3s 3p 4s 3d 4p 5s 4d 5p 6s 4f 5d 6p 7s 5f 6d ...

能量增大方向 →

5. 原子中电子壳层排布表

正常情况下,电子按能级从低到高逐一填充,由泡利不相容原理和能量最小原理可得到所有元素中电子的壳层结构。

请注意要会写出给定原子的电子组态

76



一、选择题：（每题 3 分,共 30 分）

1. 在迈克耳孙干涉仪的一条光路中,放入一折射率为  $n$ , 厚度为  $d$  的透明薄片,放入后,这条光路的光程改变了

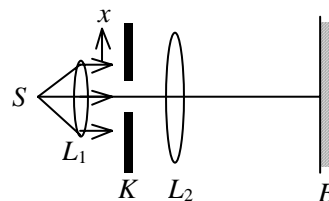
- (A)  $2(n-1)d$ . (B)  $2nd$ .  
(C)  $2(n-1)d + \lambda/2$ . (D)  $nd$ .  
(E)  $(n-1)d$ .

[       ]

2. 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.  
(E) 衍射条纹中心不动, 条纹变窄.

[       ]



3. 一束平行单色光垂直入射在光栅上,当光栅常数( $a+b$ )为下列哪种情况时( $a$  代表每条缝的宽度),  $k=3, 6, 9$  等级次的主极大均不出现?

- (A)  $a+b=2a$ . (B)  $a+b=3a$ .  
(C)  $a+b=4a$ . (D)  $a+b=6a$ .

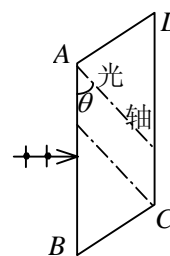
[       ]

4. 一束光是自然光和线偏振光的混合光, 让它垂直通过一偏振片. 若以此入射光束为轴旋转偏振片, 测得透射光强度最大值是最小值的 5 倍, 那么入射光束中自然光与线偏振光的光强比值为

- (A)  $1/2$ . (B)  $1/3$ .  
(C)  $1/4$ . (D)  $1/5$ .

[       ]

5.  $ABCD$  为一块方解石的一个截面,  $AB$  为垂直于纸面的晶体平面与纸面的交线. 光轴方向在纸面内且与  $AB$  成一锐角  $\theta$ , 如图所示. 一束平行的单色自然光垂直于  $AB$  端面入射. 在方解石内折射光分解为  $o$  光和  $e$  光,  $o$  光和  $e$  光的



- (A) 传播方向相同, 电场强度的振动方向互相垂直.  
(B) 传播方向相同, 电场强度的振动方向不互相垂直.  
(C) 传播方向不同, 电场强度的振动方向互相垂直.  
(D) 传播方向不同, 电场强度的振动方向不互相垂直.

[       ]

6. 设某微观粒子的总能量是它的静止能量的  $K$  倍, 则其运动速度的大小为(以  $c$  表示真空中的光速)

- (A)  $\frac{c}{K-1}$  . (B)  $\frac{c}{K}\sqrt{1-K^2}$  .  
 (C)  $\frac{c}{K}\sqrt{K^2-1}$  . (D)  $\frac{c}{K+1}\sqrt{K(K+2)}$  .

[       ]

7. 下列各组量子数中, 哪一组可以描述原子中电子的状态?

- (A)  $n=2, l=2, m_l=0, m_s=\frac{1}{2}$  .  
 (B)  $n=3, l=1, m_l=-1, m_s=-\frac{1}{2}$  .  
 (C)  $n=1, l=2, m_l=1, m_s=\frac{1}{2}$  .  
 (D)  $n=1, l=0, m_l=1, m_s=-\frac{1}{2}$  .

[       ]

8. 量子力学得出, 频率为  $\nu$  的线性谐振子, 其能量只能为

- (A)  $E=h\nu$  .  
 (B)  $E=n h \nu, (n=0, 1, 2, 3 \cdots)$  .  
 (C)  $E=\frac{1}{2} n h \nu, (n=0, 1, 2, 3 \cdots)$  .  
 (D)  $E=(n+\frac{1}{2}) h \nu, (n=0, 1, 2, 3 \cdots)$  .

[       ]

9. p 型半导体中杂质原子所形成的局部能级(也称受主能级), 在能带结构中应处于

- (A) 满带中. (B) 导带中.  
 (C) 禁带中, 但接近满带顶. (D) 禁带中, 但接近导带底.

[       ]

10. 在激光器中利用光学谐振腔

- (A) 可提高激光束的方向性, 而不能提高激光束的单色性.  
 (B) 可提高激光束的单色性, 而不能提高激光束的方向性.  
 (C) 可同时提高激光束的方向性和单色性.  
 (D) 既不能提高激光束的方向性也不能提高其单色性.

[       ]



二、填空题：（每题 3 分,共 30 分）

1. 一双缝干涉装置，在空气中观察时干涉条纹间距为 1.0 mm. 若整个装置放在水中，干涉条纹的间距将为\_\_\_\_\_mm.（设水的折射率为  $4/3$ ）

2. 在单缝夫琅禾费衍射实验中，用单色光垂直照射，若衍射图样的中央明纹极大光强为  $I_0$ ， $a$  为单缝宽度， $\lambda$  为入射光波长，则在衍射角  $\theta$  方向上的光强度

$I =$  \_\_\_\_\_.

3. 某一块火石玻璃的折射率是 1.65，现将这块玻璃浸没在水中（ $n=1.33$ ）。欲使从这块玻璃表面反射到水中的光是完全偏振的，则光由水射向玻璃的入射角应为

\_\_\_\_\_.

4. 圆偏振光通过一个四分之一波片后，出射的光是\_\_\_\_\_偏振光.

5. 已知惯性系  $S'$  相对于惯性系  $S$  系以  $0.5c$  的匀速度沿  $x$  轴的负方向运动，若从  $S'$  系的坐标原点  $O'$  沿  $x$  轴正方向发出一光波，则  $S$  系中测得此光波在真空中的波速为

\_\_\_\_\_.

6.  $\alpha$  粒子在加速器中被加速，当其质量为静止质量的 5 倍时，其动能为静止能量的\_\_\_\_\_倍.

7. 某光电管阴极，对于  $\lambda = 4910 \text{ \AA}$  的入射光，其发射光电子的遏止电压为 0.71 V. 当

入射光的波长为\_\_\_\_\_Å 时，其遏止电压变为 1.43 V.

( $e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$ ,  $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ )

8.

用文字叙述黑体辐射的维恩位移定律的内容是：\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_.

9. 静止质量为  $m_e$  的电子, 经电势差为  $U_{12}$  的静电场加速后, 若不考虑相对论效应, 电子的德布罗意波长  $\lambda =$  \_\_\_\_\_.

10. 根据量子力学理论, 氢原子中电子的动量矩为  $L = \sqrt{l(l+1)} \hbar$ , 当主量子数  $n=3$  时, 电子动量矩的可能取值为 \_\_\_\_\_.

### 三、计算题 (每题 10 分, 共 40 分)

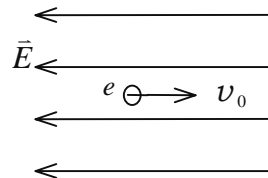
1. 一束平行光垂直入射到某个光栅上, 该光束有两种波长的光,  $\lambda_1=440 \text{ nm}$ ,  $\lambda_2=660 \text{ nm}$  ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ). 实验发现, 两种波长的谱线(不计中央明纹)第二次重合于衍射角  $\varphi=60^\circ$  的方向上. 求此光栅的光栅常数  $d$ .

2. 设  $K'$  系相对惯性系  $K$  以速率  $u$  沿  $x$  轴正向运动,  $K'$  系和  $K$  系的相应坐标轴平行. 如果从  $K'$  系中沿  $y'$  轴正向发出一光信号, 求在  $K$  系中观察到该光讯号的传播速率和传播方向.

3. 已知氢光谱的某一线系的极限波长为  $3647 \text{ \AA}$ , 其中有一谱线波长为  $6565 \text{ \AA}$ . 试由玻尔氢原子理论, 求与该波长相应的始态与终态能级的能量.

$$(R=1.097 \times 10^7 \text{ m}^{-1})$$

4. 如图所示, 一电子以初速度  $v_0 = 6.0 \times 10^6 \text{ m/s}$  逆着场强方向飞入电场强度为  $E = 500 \text{ V/m}$  的均匀电场中, 问该电子在电场中要飞行多远距离  $d$ , 可使得电子的德布罗意波长达到  $\lambda = 1 \text{ \AA}$ . (飞行过程中, 电子的质量认为不变, 即为静止质量  $m_e=9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$ ; 基本电荷  $e=1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$ ; 普朗克常量  $h=6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ ).



### 参考答案

#### 一、选择题: (每题 3 分, 共 30 分)

1.(A) 2.(D) 3.(B) 4.(A) 5.(C) 6.(C) 7.(B) 8.(D) 9.(C) 10.(C)

#### 二、填空题: (每题 3 分, 共 30 分)

1. 0.75 3 分

$$2. \quad \frac{I_0 \sin^2(\frac{\pi a \sin \theta}{\lambda})}{\frac{\pi^2 a^2 \sin^2 \theta}{\lambda^2}} \quad 3 \text{ 分}$$

或写成  $I = I_0 \frac{\sin^2 u}{u^2}, \quad u = \frac{\pi a \sin \theta}{\lambda}$

3.  $51.1^\circ$  3 分

4. 线 3 分

5.  $c$  3 分

6. 4 3 分

7.  $3.82 \times 10^3$  3 分

8. 黑体辐射的峰值波长与绝对温度成反比 3 分

9.  $h/(2m_e e U_{12})^{1/2}$  3 分

10.  $0, \sqrt{2}\hbar, \sqrt{6}\hbar$  各 1 分

三、计算题（每题 10 分，共计 40 分）

1. 解：由光栅衍射主极大公式得

$$d \sin \varphi_1 = k_1 \lambda_1$$

$$d \sin \varphi_2 = k_2 \lambda_2$$

$$\frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_2} = \frac{k_1 \lambda_1}{k_2 \lambda_2} = \frac{k_1 \times 440}{k_2 \times 660} = \frac{2k_1}{3k_2} \quad 4 \text{ 分}$$

当两谱线重合时有  $\varphi_1 = \varphi_2$  1 分

即  $\frac{k_1}{k_2} = \frac{3}{2} = \frac{6}{4} = \frac{9}{6} \dots\dots\dots$  1 分

两谱线第二次重合即是

$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{6}{4}, \quad k_1=6, \quad k_2=4 \quad 2 \text{ 分}$$

由光栅公式可知  $d \sin 60^\circ = 6\lambda_1$

$$d = \frac{6\lambda_1}{\sin 60^\circ} = 3.05 \times 10^{-3} \text{ mm} \quad 2 \text{ 分}$$

2. 解：已知  $v'_x = 0, \quad v'_y = c, \quad v'_z = 0.$

按狭义相对论的速度变换公式：

$$v_x = \frac{v'_x + u}{1 + (uv'_x/c^2)} = u \quad 3 \text{ 分}$$

$$v_y = \frac{v'_y \sqrt{1 - u^2/c^2}}{1 + (uv'_x/c^2)} = c \sqrt{1 - u^2/c^2} \quad 3 \text{ 分}$$

$$v_z = \frac{v'_z \sqrt{1 - u^2/c^2}}{1 + (uv'_x/c^2)} = 0 \quad 2 \text{ 分}$$

在  $K$  系中光讯号的速度大小

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} = \sqrt{u^2 + c^2(1 - u^2/c^2)} = c \quad 1 \text{ 分}$$

光讯号传播方向与  $x$  轴的夹角

$$\alpha = \cos^{-1} \frac{v_x}{v} = \cos^{-1} \frac{u}{c} \quad 1 \text{ 分}$$

3. 解：极限波数  $\tilde{\nu} = 1/\lambda_\infty = R/k^2$  可求出该线系的共同终态. 1 分

$$k = \sqrt{R\lambda_\infty} = 2 \quad 2 \text{ 分}$$

$$\tilde{\nu} = \frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2}\right) \quad 2 \text{ 分}$$

由  $\lambda = 6565 \text{ \AA}$  可得始态  $n = \sqrt{\frac{R\lambda\lambda_\infty}{\lambda - \lambda_\infty}} = 3 \quad 2 \text{ 分}$

由  $E_n = \frac{E_1}{n^2} = -\frac{13.6}{n^2} \text{ eV} \quad 1 \text{ 分}$

可知终态  $n=2, E_2 = -3.4 \text{ eV} \quad 1 \text{ 分}$

始态  $n=3, E_3 = -1.51 \text{ eV} \quad 1 \text{ 分}$

4. 解：  $\lambda = h/(m_e v) \quad \textcircled{1} \quad 2 \text{ 分}$

$$v^2 - v_0^2 = 2ad \quad \textcircled{2} \quad 2 \text{ 分}$$

$$eE = m_e a \quad \textcircled{3} \quad 2 \text{ 分}$$

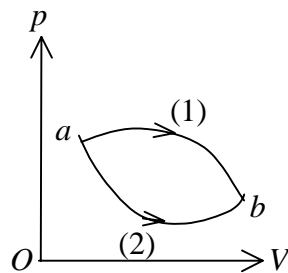
由①式：  $v = h/(m_e \lambda) = 7.28 \times 10^6 \text{ m/s}$

由③式：  $a = eE/m_e = 8.78 \times 10^{13} \text{ m/s}^2$

由②式：  $d = (v^2 - v_0^2)/(2a) = 0.0968 \text{ m} = 9.68 \text{ cm} \quad 4 \text{ 分}$

一、判断题（每题 3 分）

1. 如图, 1 mol 理想气体从  $p-V$  图上初态  $a$  分别经历如图所示的(1) 或(2)过程到达末态  $b$ 。已知  $T_a < T_b$ , 则这两过程中气体吸收的热量  $Q_1$  和  $Q_2$  的关系是



- (A)  $Q_1 > Q_2 > 0$ . (B)  $Q_2 > Q_1 > 0$ .  
(C)  $Q_2 < Q_1 < 0$ . (D)  $Q_1 < Q_2 < 0$ .  
(E)  $Q_1 = Q_2 > 0$ .

[ ]

2. 水蒸气分解成同温度的氢气和氧气, 内能增加了百分之几(不计化学能, 所有分子看成是理想的刚性分子)?

- (A) 66.7%. (B) 50%.  
(C) 25%. (D) 0.

[ ]

3. 若  $f(v)$  为气体分子速率分布函数,  $N$  为分子总数,  $m$  为分子质量, 则  $\int_{v_1}^{v_2} \frac{1}{2} m v^2 N f(v) dv$  的物理意义是

- (A) 速率为  $v_2$  的各分子的总平动动能与速率为  $v_1$  的各分子的总平动动能之差.  
(B) 速率为  $v_2$  的各分子的总平动动能与速率为  $v_1$  的各分子的总平动动能之和.  
(C) 速率处在速率间隔  $v_1 \sim v_2$  之内的分子的平均平动动能.  
(D) 速率处在速率间隔  $v_1 \sim v_2$  之内的分子平动动能之和.

[ ]

4. 设有下列过程:

- (1) 用活塞缓慢地压缩绝热容器中的理想气体. (设活塞与器壁无摩擦)  
(2) 用缓慢旋转的叶片使绝热容器中的水温上升.  
(3) 一滴墨水在水杯中缓慢弥散开.  
(4) 一个不受空气阻力及其它摩擦力作用的单摆的摆动.

其中是可逆过程的为

- (A) (1)、(2)、(4).  
(B) (1)、(2)、(3).  
(C) (1)、(3)、(4).  
(D) (1)、(4).

[ ]

5. 沿着相反方向传播的两列相干波, 其表达式为

$$y_1 = A \cos 2\pi(\nu t - x/\lambda) \quad \text{和} \quad y_2 = A \cos 2\pi(\nu t + x/\lambda).$$

叠加后形成的驻波中, 波节的位置坐标为

- (A)  $x = \pm k\lambda$ . (B)  $x = \pm \frac{1}{2} k\lambda$ .  
(C)  $x = \pm \frac{1}{2} (2k+1)\lambda$ . (D)  $x = \pm (2k+1)\lambda/4$ .

其中的  $k = 0, 1, 2, 3, \dots$ .

[ ]

6. 一平面简谐波在弹性媒质中传播时, 某一时刻媒质中某质元在负的最大位移处, 则它的能量是

- (A) 动能为零, 势能最大. (B) 动能为零, 势能为零.  
(C) 动能最大, 势能最大. (D) 动能最大, 势能为零.

[ ]

7. 如果两个偏振片堆叠在一起, 且偏振化方向之间夹角为  $60^\circ$ , 光强为  $I_0$  的自然光垂直入射在偏振片上, 则出射光强为

- (A)  $I_0/8$ . (B)  $I_0/4$ .  
(C)  $3I_0/8$ . (D)  $3I_0/4$ .

[ ]

8. 设某微观粒子的总能量是它的静止能量的  $K$  倍, 则其运动速度的大小为(以  $c$  表示真空中的光速)

- (A)  $\frac{c}{K-1}$ . (B)  $\frac{c}{K}\sqrt{1-K^2}$ .  
(C)  $\frac{c}{K}\sqrt{K^2-1}$ . (D)  $\frac{c}{K+1}\sqrt{K(K+2)}$ .

[ ]

9. 在均匀磁场  $B$  内放置一极薄的金属片, 其红限波长为  $\lambda_0$ . 今用单色光照射, 发现有电子放出, 有些放出的电子(质量为  $m$ , 电荷的绝对值为  $e$ )在垂直于磁场的平面内作半径为  $R$  的圆周运动, 那末此照射光光子的能量是:

- (A)  $\frac{hc}{\lambda_0}$ . (B)  $\frac{hc}{\lambda_0} + \frac{(eRB)^2}{2m}$ . (C)  $\frac{hc}{\lambda_0} + \frac{eRB}{m}$ . (D)  $\frac{hc}{\lambda_0} + 2eRB$ .

[ ]

10. 如果(1)锗用铈(五价元素)掺杂, (2)硅用铝(三价元素)掺杂, 则分别获得的半导体属于下述类型:

- (A) (1), (2)均为 n 型半导体.  
(B) (1)为 n 型半导体, (2)为 p 型半导体.  
(C) (1)为 p 型半导体, (2)为 n 型半导体.  
(D) (1), (2)均为 p 型半导体.

[ ]

## 二、填空题 (每题 3 分)

1. 分子热运动自由度为  $i$  的一定量刚性分子理想气体, 当其体积为  $V$ 、压强为  $P$  时, 其内能  $E = \underline{\hspace{2cm}}$  (用题中给出的数据表示).

2. 已知 1 mol 的某种理想气体(其分子可视为刚性分子), 在等压过程中温度上升 1 K, 内能增加了 20.78 J, 则该气体对外做功为                     , 该气体吸收热量为                     .

3. 如图, 绝热容器中充满了处于标准状况下的单原子分子的理想气体, 一个可以自由滑动的绝热活塞从最右端缓慢向左移动, 将其体积压缩到原来的一半, 气体压强变成\_\_\_\_\_大气压. 如果此时把活塞上的阀门打开,



让气体流向处于真空状态的右半部, 气体的最终压强是\_\_\_\_\_大气压.

4. 在迈克耳孙干涉仪的一条光路中, 放入一折射率为  $n$ , 厚度为  $d$  的透明薄片, 放入后, 这条光路的光程改变了\_\_\_\_\_.

5. 为了使波长  $600\text{nm}$  的光透射率最高, 我们在折射率为  $1.48$  的镜片表面镀了一层折射率为  $1.50$  的膜, 该膜的最小厚度应为\_\_\_\_\_ (光从空气中入射).

6. 绳上原有波函数为  $y = 0.4 \cos[2\pi(20t - 0.5x) + 0.3\pi]$  的行波, 如果加上了波函数为\_\_\_\_\_的波, 就产生了标准的驻波 (要求:  $x = 4.0$  是一个节点).

7. 波长  $\lambda = 500\text{nm}$  ( $1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$ ) 的单色光垂直照射到宽度  $a = 0.25\text{mm}$  的单缝上, 单缝后面放置一凸透镜, 在凸透镜的焦平面上放置一屏幕, 用以观测衍射条纹. 今测得屏幕上中央明条纹一侧第三个暗条纹和另一侧第三个暗条纹之间的距离为  $d = 12\text{mm}$ , 则凸透镜的焦距  $f$  为\_\_\_\_\_.

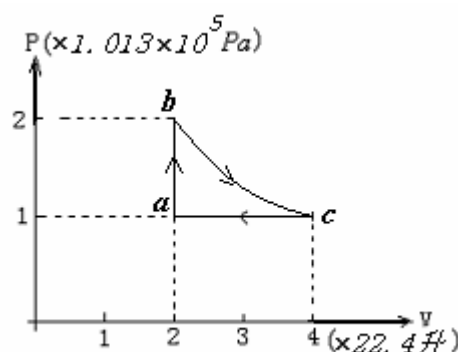
8. 一个静止质量为  $M$  的粒子因为内部的原因分解为两个质量相同、分别以  $v = \pm 3c/5$  ( $c$  为真空中光速) 的速度运动的两个粒子, 每个粒子的动量的大小是\_\_\_\_\_, 如果这些粒子受到了某种阻力停了下来, 每个粒子的静止质量是\_\_\_\_\_.

9. 光子的波长为  $\lambda = 600\text{nm}$ , 如果该光子位置的不确定度为  $48\text{mm}$ , 则它的波长的相对精确度  $\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$  约为\_\_\_\_\_ (用测不准关系的理论公式  $\Delta x \Delta p_x \sim \hbar/2$  来估计).

10. 某种半导体的禁带宽度为  $0.80$  电子伏特, 该半导体吸收辐射的最大波长为\_\_\_\_\_nm.

### 三. 计算题 (每题 8 分)

1.  $2\text{mol}$  的单原子理想气体分子经历了如图所示的循环过程, 其中  $bc$  是等温过程, 求这个循环过程的热机效率?



2. 波长  $\lambda = 560 \text{ nm}$  的平行光, 垂直投射到光栅常数  $d = 3.0 \mu\text{m}$ , 缝宽  $a = 1.5 \mu\text{m}$  的光栅上, 问屏幕上能看到哪几级透射光的亮纹?
3. 某恒星距离地球 12 光年, 假如一个 30 岁的宇航员乘一个速度为  $0.8c$  的高速火箭从地球飞向该恒星, 当到达的时候, 他觉得他自己的年龄是多少?
4. 已知氢原子受到某种激发以后, 发出三种不同频率的光, 一种是可见光, 另外两种是紫外光, 这三种光的频率各是多少?
5. 一个电子的动能与它的静止能量刚好相等, 问它的速度是多少? 它的德布罗意波长是多少?

## 参考答案

一、选择题:

1.(A) 2.(C) 3.(D) 4.(D) 5.(D) 6.(B) 7.(A) 8.(C) 9.(B) 10.(B)

二、填空题: (每题 3 分, 共 30 分)

1.  $\frac{i}{2}PV$
2. 8.31 J      29.09 J
3. 3.17    1.59
4.  $2(n-1)d$
5. 200nm
6.  $0.4\cos[2\pi(20t+0.5x)+1.3\pi\pm 2k\pi]$
7. 1m
8. 0.3Mc    0.4M
9.  $1.0 \times 10^{-6}$
10. 1554nm

三、计算题 (共计 40 分)

1. 解:  $Q_{ab} = \nu C_V \Delta T$        $Q_{bc} = \nu RT \ln \frac{V_c}{V_b}$

放热:  $Q_{cb} = |\nu C_p \Delta T|$        $\eta = 1 - \frac{Q_{cb}}{Q_{ab} + Q_{bc}} = 13.4\%$

2. 解:  $d \sin \theta = k\lambda$      $|k\lambda/d| < 1$      $|k| \leq 5$

$a \sin \theta = k'\lambda$      $d \sin \theta = k\lambda$

$k' = \pm 2, \pm 4$      $\therefore k = 0, \pm 1, \pm 3, \pm 5$

3. 解:  $T = \frac{12cN}{0.8c}$      $N$  为一年的秒数

$\frac{T'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = T$

$\therefore T' = 9N$  (秒)    39 岁    (可用长度缩短方法)

4. 解:  $\Delta E = 13.6 \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$      $\nu = \frac{\Delta E}{h}$

$\nu_1 = 2.92 \times 10^{15}$      $\nu_2 = 2.46 \times 10^{15}$      $\nu_3 = 24.56 \times 10^{14}$

5. 解:  $mc^2 - m_0c^2 = m_0c^2$      $\therefore v = \frac{\sqrt{3}}{2}c$

$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{3}m_0c} = 1.4 \times 10^{-12} \text{ m}$



一、选择题：（每题 3 分,共 30 分）

1. 1 mol 刚性双原子分子理想气体, 当温度为  $T$  时, 其内能为

- (A)  $\frac{3}{2}RT$ .                      (B)  $\frac{3}{2}kT$ .  
(C)  $\frac{5}{2}RT$ .                      (D)  $\frac{5}{2}kT$ .

（式中  $R$  为普适气体常量,  $k$  为玻尔兹曼常量）

[       ]

2. 速率分布函数  $f(v)$  的物理意义为:

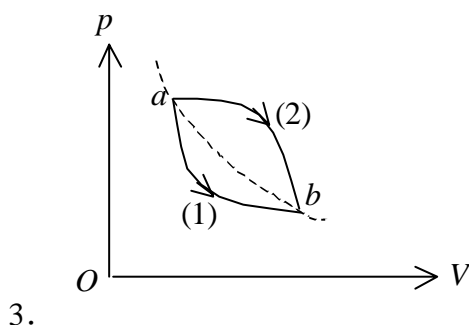
- (A) 具有速率  $v$  的分子占总分子数的百分比.  
(B) 速率分布在  $v$  附近的单位速率间隔中的分子数占总分子数的百分比.  
(C) 具有速率  $v$  的分子数.  
(D) 速率分布在  $v$  附近的单位速率间隔中的分子数.

[       ]

3. 一定量的理想气体, 从  $p-V$  图上初态  $a$  经历 (1) 或 (2) 过程到达末态  $b$ , 已知  $a$ 、 $b$  两态处于同一条绝热线上 (图中虚线是绝热线), 则气体在

- (A) (1) 过程中吸热, (2) 过程中放热.  
(B) (1) 过程中放热, (2) 过程中吸热.  
(C) 两种过程中都吸热.  
(D) 两种过程中都放热.

[       ]



3.

4. 根据热力学第二定律可知:

- (A) 功可以全部转换为热, 但热不能全部转换为功.  
(B) 热可以从高温物体传到低温物体, 但不能从低温物体传到高温物体  
(C) 不可逆过程就是不能向相反方向进行的过程.  
(D) 一切自发过程都是不可逆的.

[       ]

5. 一平面简谐波在弹性媒质中传播, 在媒质质元从最大位移处回到平衡位置的过程中

- (A) 它的势能转换成动能.  
(B) 它的动能转换成势能.  
(C) 它从相邻的一段媒质质元获得能量, 其能量逐渐增加.  
(D) 它把自己的能量传给相邻的一段媒质质元, 其能量逐渐减小.

[       ]

6. 沿着相反方向传播的两列相干波, 其表达式为

$$y_1 = A \cos 2\pi(\nu t - x/\lambda) \quad \text{和} \quad y_2 = A \cos 2\pi(\nu t + x/\lambda).$$

叠加后形成的驻波中, 波节的位置坐标为

- (A)  $x = \pm k\lambda$ .                      (B)  $x = \pm \frac{1}{2}k\lambda$ .  
(C)  $x = \pm \frac{1}{2}(2k+1)\lambda$ .              (D)  $x = \pm(2k+1)\lambda/4$ .

其中的  $k = 0, 1, 2, 3, \dots$ .

[       ]

7. 一束光强为  $I_0$  的自然光垂直穿过两个偏振片, 且此两偏振片的偏振化方向成  $45^\circ$  角, 则穿过两个偏振片后的光强  $I$  为

- (A)  $I_0/4\sqrt{2}$ .                      (B)  $I_0/4$ .  
(C)  $I_0/2$ .                          (D)  $\sqrt{2}I_0/2$ .

[       ]

8. 根据相对论力学, 动能为 0.25 MeV 的电子, 其运动速度约等于

- (A)  $0.1c$                               (B)  $0.5c$   
(C)  $0.75c$                             (D)  $0.85c$   
( $c$  表示真空中的光速, 电子的静能  $m_0c^2 = 0.51 \text{ MeV}$ )

[       ]

9. 若  $\alpha$  粒子(电荷为  $2e$ ) 在磁感应强度为  $B$  均匀磁场中沿半径为  $R$  的圆形轨道运动, 则  $\alpha$  粒子的德布罗意波长是

- (A)  $h/(2eRB)$ .                      (B)  $h/(eRB)$ .  
(C)  $1/(2eRBh)$ .                      (D)  $1/(eRBh)$ .

[       ]

10. 与绝缘体相比较, 半导体能带结构的特点是

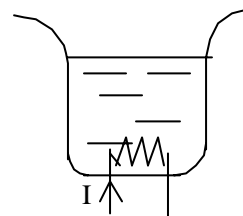
- (A) 导带也是空带.  
(B) 满带与导带重合.  
(C) 满带中总是有空穴, 导带中总是有电子.  
(D) 禁带宽度较窄.

[       ]

二、填空题：（每题 3 分,共 30 分）

1.  $A$ 、 $B$ 、 $C$  三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  $\overline{w_A} : \overline{w_B} : \overline{w_C} = 1 : 2 : 4$ ，则它们的压强之比  $p_A : p_B : p_C =$ \_\_\_\_\_.

2. 水的定压比热为  $4.2 \text{ J/g} \cdot \text{K}$ ．有  $1 \text{ kg}$  的水放在有电热丝的开口桶内，如图所示．已知在通电使水从  $30^\circ \text{C}$  升高到  $80^\circ \text{C}$  的过程中，电流做功为  $4.2 \times 10^5 \text{ J}$ ，那么过程中系统从外界吸收的热量  $Q =$ \_\_\_\_\_.



3. 已知  $1 \text{ mol}$  的某种理想气体(其分子可视为刚性分子)，在等压过程中温度上升  $1 \text{ K}$ ，内能增加了  $20.78 \text{ J}$ ，则气体对外做功为\_\_\_\_\_，气体吸收热量为\_\_\_\_\_． (普适气体常量  $R = 8.31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )

4. 一平面简谐波沿  $x$  轴负方向传播．已知  $x = -1 \text{ m}$  处质点的振动方程为  $y = A \cos(\omega t + \phi)$ ，若波速为  $u$ ，则此波的表达式为\_\_\_\_\_.

5. 用波长为  $\lambda$  的单色光垂直照射置于空气中的厚度为  $e$  折射率为  $1.5$  的透明薄膜，两束反射光的光程差  $\delta =$ \_\_\_\_\_.

6. 把双缝干涉实验装置放在折射率为  $n$  的媒质中，双缝到观察屏的距离为  $D$ ，两缝之间的距离为  $d$  ( $d \ll D$ )，入射光在真空中的波长为  $\lambda$ ，则屏上干涉条纹中相邻明纹的间距是\_\_\_\_\_.

7. 某单色光垂直入射到一个每毫米有  $800$  条刻线的光栅上，如果第一级谱线的衍射角为  $30^\circ$ ，则入射光的波长应为\_\_\_\_\_.

8. 质子在加速器中被加速，当其动能为静止能量的  $3$  倍时，其质量为静止质量的\_\_\_\_\_倍.

9. 根据量子力学理论，氢原子中电子的动量矩为  $L = \sqrt{l(l+1)} \hbar$ ，当主量子数  $n = 3$

时, 电子动量矩的可能取值为\_\_\_\_\_.

10. 在下列给出的各种条件中, 哪些是产生激光的条件, 将其标号列下:

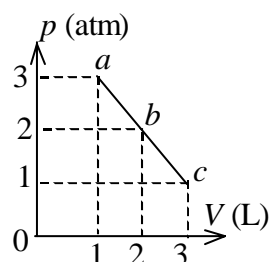
\_\_\_\_\_.

- (1)自发辐射. (2)受激辐射. (3)粒子数反转.  
(4)三能极系统. (5)谐振腔.

### 三、计算题 (共 40 分)

1. (本题 10 分)一定量的理想气体, 由状态  $a$  经  $b$  到达  $c$ . (如图,  $abc$  为一直线)求此过程中

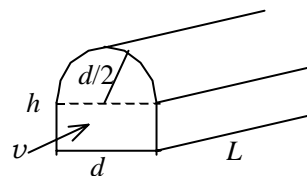
- (1) 气体对外作的功;  
(2) 气体内能的增量;  
(3) 气体吸收的热量. ( $1 \text{ atm} = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ )



2. (本题 7 分)一横波方程为  $y = A \cos \frac{2\pi}{\lambda}(ut - x)$ , 式中  $A = 0.01 \text{ m}$ ,  $\lambda = 0.2 \text{ m}$ ,  $u = 25 \text{ m/s}$ , 求  $t = 0.1 \text{ s}$  时在  $x = 2 \text{ m}$  处质点振动的位移、速度、加速度.

3. (本题 10 分)一束平行光垂直入射到某个光栅上, 该光束有两种波长的光,  $\lambda_1 = 440 \text{ nm}$ ,  $\lambda_2 = 660 \text{ nm}$  ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ). 实验发现, 两种波长的谱线(不计中央明纹)第二次重合于衍射角  $\varphi = 60^\circ$  的方向上. 求此光栅的光栅常数  $d$ .

4. (本题 7 分)一隧道长为  $L$ , 宽为  $d$ , 高为  $h$ , 拱顶为半圆, 如图. 设想一列车以极高的速度  $v$  沿隧道长度方向通过隧道, 若从列车上观测,



- (1) 隧道的尺寸如何?  
(2) 设列车的长度为  $l_0$ , 它全部通过隧道的时间是多少?

5. (本题 6 分)能量为  $15 \text{ eV}$  的光子, 被处于基态的氢原子吸收, 使氢原子电离发射一个光电子, 求此光电子的德布罗意波长.

(电子的质量  $m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$ , 普朗克常量  $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ ,  $1 \text{ eV} = 1.60 \times 10^{-19} \text{ J}$ )

## 参考答案

一、选择题：（每题 3 分,共 30 分）

1.(C) 2.(B) 3.(B) 4.(D) 5.(C) 6.(D) 7.(B) 8.(C) 9.(A) 10.(D)

二、填空题：（每题 3 分,共 30 分）

1. 1 : 1 : 1 3 分

2.  $-2.1 \times 10^5 \text{ J}$  负号 1 分, 数值及单位 2 分

参考解: 如果加热使水经历同样的等压升温过程, 应有

$$Q' = \Delta E + W' = mc(T_2 - T_1)$$

可知

$$\Delta E = mc(T_2 - T_1) - W'$$

现在通电使水经历等压升温过程, 则应有

$$\therefore Q = \Delta E + W' - W_{\text{电}}$$

$$\therefore Q = mc(T_2 - T_1) - W_{\text{电}} = -2.1 \times 10^5 \text{ J}$$

3. 8.31 J 1 分

29.09 J 2 分

4.  $y = A \cos\{\omega[t + (1+x)/u] + \phi\}$  (SI) 3 分

5.  $3e + \lambda/2$  或  $3e - \lambda/2$  3 分

6.  $D\lambda/(dn)$  3 分

7.  $6250\text{\AA}$  (或  $625 \text{ nm}$ ) 3 分

8. 4 3 分

9. 0,  $\sqrt{2}\hbar$ ,  $\sqrt{6}\hbar$  各 1 分

10. (2)、(3)、(4)、(5) 各 1 分, (4) 有无不扣分、加分。

三、计算题（共计 40 分）

1.(10 分) 解: (1) 气体对外作的功等于线段  $\bar{ac}$  下所围的面积

$$W = (1/2) \times (1+3) \times 1.013 \times 10^5 \times 2 \times 10^{-3} \text{ J} = 405.2 \text{ J} \quad 3 \text{ 分}$$

(2) 由图看出  $P_a V_a = P_c V_c \quad \therefore T_a = T_c \quad 2 \text{ 分}$

内能增量  $\Delta E = 0. \quad 2 \text{ 分}$

(3) 由热力学第一定律得

$$Q = \Delta E + W = 405.2 \text{ J}. \quad 3 \text{ 分}$$

2. (7 分) 解:  $y = A \cos 2\pi \frac{ut - x}{\lambda} = -0.01 \text{ m} \quad 1 \text{ 分}$

$$v = \left. \frac{dy}{dt} \right|_{x=2, t=0.1} = -A \frac{2\pi u}{\lambda} \sin(2\pi \frac{ut - x}{\lambda}) = 0 \quad 3 \text{ 分}$$

$$a = \frac{d^2 y}{dt^2} = -A \left( \frac{2\pi u}{\lambda} \right)^2 \cos(2\pi \frac{ut - x}{\lambda}) = 6.17 \times 10^3 \text{ m/s}^2 \quad 3 \text{ 分}$$

3. (10 分)解：由光栅衍射主极大公式得

$$d \sin \varphi_1 = k_1 \lambda_1$$

$$d \sin \varphi_2 = k_2 \lambda_2$$

$$\frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_2} = \frac{k_1 \lambda_1}{k_2 \lambda_2} = \frac{k_1 \times 440}{k_2 \times 660} = \frac{2k_1}{3k_2} \quad 4 \text{ 分}$$

当两谱线重合时有  $\varphi_1 = \varphi_2$  1 分

即  $\frac{k_1}{k_2} = \frac{3}{2} = \frac{6}{4} = \frac{9}{6} \dots\dots\dots$  1 分

两谱线第二次重合即是

$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{6}{4}, \quad k_1=6, \quad k_2=4 \quad 2 \text{ 分}$$

由光栅公式可知  $d \sin 60^\circ = 6\lambda_1$

$$d = \frac{6\lambda_1}{\sin 60^\circ} = 3.05 \times 10^{-3} \text{ mm} \quad 2 \text{ 分}$$

4. (7 分)解：(1) 从列车上观察，隧道的长度缩短，其它尺寸均不变。 1 分

隧道长度为  $L' = L \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$  3 分

(2) 从列车上观察，隧道以速度  $v$  经过列车，它经过列车全长所需时间为

$$t' = \frac{L'}{v} + \frac{l_0}{v} = \frac{L \sqrt{1 - (v/c)^2} + l_0}{v} \quad 3 \text{ 分}$$

这也即列车全部通过隧道的时间。

5. (6 分)解：远离核的光电子动能为

$$E_K = \frac{1}{2} m_e v^2 = 15 - 13.6 = 1.4 \text{ eV}$$

则  $v = \sqrt{\frac{2E_K}{m_e}} = 7.0 \times 10^5 \text{ m/s}$  3 分

光电子的德布罗意波长为

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m_e v} = 1.04 \times 10^{-9} \text{ m} = 10.4 \text{ \AA} \quad 3 \text{ 分}$$

一. 选择题(每题 1 分, 共 15 分)

1. 三个容器 A、B、C 中装有同种理想气体, 其分子数密度  $n$  相同, 而方均根速率之比为  $(\overline{v_A^2})^{1/2} : (\overline{v_B^2})^{1/2} : (\overline{v_C^2})^{1/2} = 1 : 2 : 4$ , 则其压强之比  $p_A : p_B : p_C$  为:

- (A) 1 : 2 : 4. (B) 1 : 4 : 8.  
(C) 1 : 4 : 16. (D) 4 : 2 : 1. [ ]

2. 金属导体中的电子, 在金属内部作无规则运动, 与容器中的气体分子很类似. 设金属中共有  $N$  个自由电子, 其中电子的最大速率为  $v_m$ , 电子速率在  $v \sim v + dv$  之间的概率为

$$\frac{dN}{N} = \begin{cases} Av^2 dv & 0 \leq v \leq v_m \\ 0 & v > v_m \end{cases}$$

式中  $A$  为常数. 则该电子气电子的平均速率为

- (A)  $\frac{A}{3}v_m^3$ . (B)  $\frac{A}{4}v_m^4$ .  
(C)  $v_m$ . (D)  $\frac{A}{3}v_m^2$ . [ ]

3. 按照麦克斯韦分子速率分布定律, 具有最概然速率  $v_p$  的分子, 其动能为:

- (A)  $\frac{3}{2}RT$ . (B)  $\frac{3}{2}kT$ .  
(C)  $kT$ . (D)  $\frac{1}{2}RT$ . [ ]

4. 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). [ ]

5. 一定量的理想气体, 开始时处于压强, 体积, 温度分别为  $p_1, V_1, T_1$  的平衡态, 后来变到压强, 体积, 温度分别为  $p_2, V_2, T_2$  的终态. 若已知  $V_2 > V_1$ , 且  $T_2 = T_1$ , 则以下各种说法中正确的是:

- (A) 不论经历的是什么过程, 气体对外净作的功一定为正值.  
(B) 不论经历的是什么过程, 气体从外界净吸的热一定为正值.  
(C) 若气体从始态变到终态经历的是等温过程, 则气体吸收的热量最少.  
(D) 如果不给定气体所经历的是什么过程, 则气体在过程中对外净作功和从外界净吸热的正负皆无法判断. [ ]

6. 一定量的理想气体, 其状态变化遵从多方过程方程  $pV^n = \text{常量}$ , 已知其体积增大为原来的二倍时, 温度相应降低为原来的四分之一, 则多方指数  $n$  为

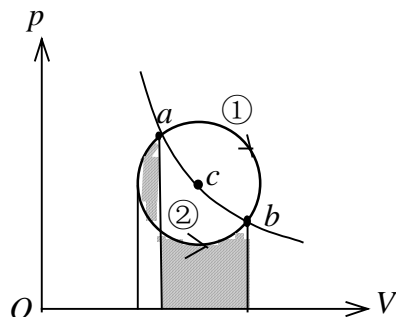
- (A) 3. (B) 2.  
(C)  $\frac{1}{2}$ . (D)  $\frac{1}{3}$ .

[ ]

7. 一定量的理想气体, 从  $a$  态出发经过①或②过程到达  $b$  态,  $acb$  为等温线(如图), 则①、②两过程中外界对系统传递的热量  $Q_1$ 、 $Q_2$  是

- (A)  $Q_1 > 0$ ,  $Q_2 < 0$ . (B)  $Q_1 < 0$ ,  $Q_2 < 0$ .  
(C)  $Q_1 > 0$ ,  $Q_2 > 0$ . (D)  $Q_1 < 0$ ,  $Q_2 > 0$ .

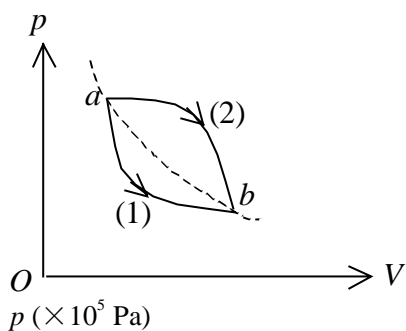
[ ]



8. 一定量的理想气体, 从  $p-V$  图上初态  $a$  经历(1)或(2)过程到达末态  $b$ , 已知  $a$ 、 $b$  两态处于同一条绝热线上(图中虚线是绝热线), 则气体在

- (A) (1)过程中放热, (2)过程中吸热.  
(B) (1)过程中吸热, (2)过程中放热.  
(C) 两种过程中都吸热.  
(D) 两种过程中都放热.

[ ]

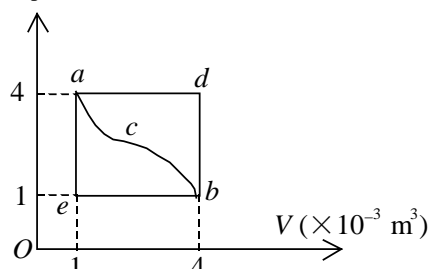


9. 一定量的理想气体经历  $acb$  过程时吸热 500 J.

J. 则经历  $acbda$  过程时, 吸热为

- (A) -1200 J. (B) -700 J.  
(C) -400 J. (D) 700 J.

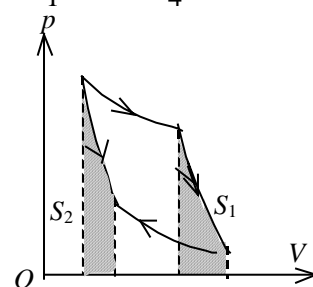
[ ]



10. 理想气体卡诺循环过程的两条绝热线下的面积大小(图中阴影部分)分别为  $S_1$  和  $S_2$ , 则二者的大小关系是:

- (A)  $S_1 > S_2$ . (B)  $S_1 = S_2$ .  
(C)  $S_1 < S_2$ . (D) 无法确定.

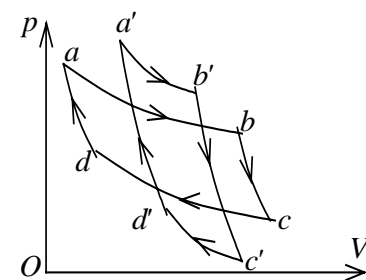
[ ]



11. 某理想气体分别进行了如图所示的两个卡诺循环: I ( $abcd a$ ) 和 II ( $a'b'c'd'a'$ ), 且两个循环曲线所围面积相等. 设循环 I 的效率为  $\eta$ , 每次循环在高温热源处吸的热量为  $Q$ , 循环 II 的效率为  $\eta'$ , 每次循环在高温热源处吸的热量为  $Q'$ , 则

- (A)  $\eta > \eta'$ ,  $Q < Q'$ . (B)  $\eta > \eta'$ ,  $Q > Q'$ .  
(C)  $\eta < \eta'$ ,  $Q < Q'$ . (D)  $\eta < \eta'$ ,  $Q > Q'$ .

[ ]





12. 卡诺定理指出：工作于两个一定温度的高、低温热源之间的

- (A) 一切热机效率相等.
- (B) 一切可逆机效率相等.
- (C) 一切不可逆机的效率相等.
- (D) 一切不可逆机的效率一定高于可逆机的效率.

[       ]

13. 关于热功转换和热量传递过程，有下面一些叙述：

- (1) 功可以完全变为热量，而热量不能完全变为功；
- (2) 一切热机的效率都只能够小于 1；
- (3) 热量不能从低温物体向高温物体传递；
- (4) 热量从高温物体向低温物体传递是不可逆的.

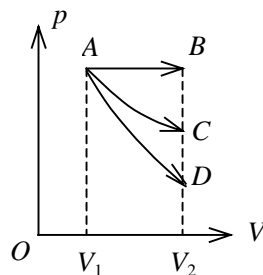
以上这些叙述

- (A) 只有(2)、(4)正确.
- (B) 只有(2)、(3)、(4)正确.
- (C) 只有(1)、(3)、(4)正确.
- (D) 全部正确.

[       ]

14. 如图所示：一定质量的理想气体，从同一状态  $A$  出发，分别经  $AB$ （等压）、 $AC$ （等温）、 $AD$ （绝热）三种过程膨胀，使体积从  $V_1$  增加到  $V_2$ . 问哪个过程中气体的熵增加最多？哪个过程中熵增加为零？正确的答案是：

- (A) 过程  $AC$  熵增加最多，过程  $AD$  熵增加为零.
- (B) 过程  $AB$  熵增加最多，过程  $AC$  熵增加为零.
- (C) 过程  $AB$  熵增加最多，过程  $AD$  熵增加为零.
- (D) 过程  $AD$  熵增加最多，过程  $AB$  熵增加为零.



[       ]

15. 理想气体绝热地向真空自由膨胀，体积增大为原来的两倍，则始、末两态的温度  $T_1$  与  $T_2$  和始、末两态气体分子的平均自由程  $\bar{\lambda}_1$  与  $\bar{\lambda}_2$  的关系为

(A)  $T_1 = 2T_2$ ,  $\bar{\lambda}_1 = \bar{\lambda}_2$  .      (B)  $T_1 = 2T_2$ ,  $\bar{\lambda}_1 = \frac{1}{2}\bar{\lambda}_2$ .

(C)  $T_1 = T_2$ ,  $\bar{\lambda}_1 = \bar{\lambda}_2$ .      (D)  $T_1 = T_2$ ,  $\bar{\lambda}_1 = \frac{1}{2}\bar{\lambda}_2$

[       ]

一. 填空题(每题 1 分，共 15 分)

1. 在容积为  $10^{-2} \text{ m}^3$  的容器中，装有质量 100 g 的气体，若气体分子的方均根速率为  $200 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ，则气体的压强为\_\_\_\_\_.

2. 一容器内储有某种气体，若已知气体的压强为  $3 \times 10^5 \text{ Pa}$ ，温度为  $27^\circ\text{C}$ ，密度为  $0.24 \text{ kg/m}^3$ ，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.

3. 边长为 1 m 的立方箱子内盛有处于标准状态下的  $3 \times 10^{25}$  个氧分子，此时氧分子的平均速率  $\bar{v} =$ \_\_\_\_\_m/s. 若已知在单位时间内撞击在容器器壁单位面积

上的分子数是  $\frac{1}{4}n\bar{v}$  (其中  $n$  为分子数密度), 计算 1 秒钟内氧分子与箱子碰撞的次数

$$N = \underline{\hspace{2cm}} \text{ s}^{-1}.$$

4. 在无外力场作用的条件下, 处于平衡态的气体分子按速度分布的规律, 可用\_\_\_\_\_分布律来描述. 如果气体处于外力场中, 气体分子在空间的分布规律, 可用\_\_\_\_\_分布律来描述.

5. 某系统由两种理想气体  $A$ 、 $B$  组成. 其分子数分别为  $N_A$ 、 $N_B$ . 若在某一温度下,  $A$ 、 $B$  气体各自的速率分布函数为  $f_A(v)$ 、 $f_B(v)$ , 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  $f(v) =$ \_\_\_\_\_.

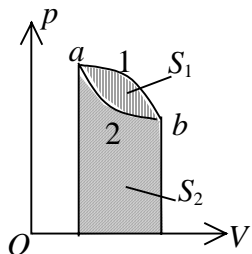
6. 按照分子运动论的观点, 气体中的扩散现象是由于分子热运动所引起的\_\_\_\_\_ 运输; 热传导现象是由于分子热运动所引起的\_\_\_\_\_ 运输; 粘滞现象是由于分子热运动所引起的\_\_\_\_\_ 运输.

7. 一定量的某种理想气体, 先经过等体过程使其热力学温度升高为原来的 4 倍; 再经过等温过程使其体积膨胀为原来的 2 倍, 则分子的平均碰撞频率变为原来的\_\_\_\_\_倍.

8. 如图所示, 已知图中画不同斜线的两部分的面积分别为  $S_1$  和  $S_2$ , 那么

(1) 如果气体的膨胀过程为  $a \rightarrow 1 \rightarrow b$ , 则气体对外做功  $W =$  \_\_\_\_\_ ;

(2) 如果气体进行  $a-2-b-1-a$  的循环过程, 则它对外做功

$$W = \underline{\hspace{2cm}}.$$


9. 若用气体状态参量 ( $p$ 、 $V$ 、 $T$ ) 来表述一定量气体的内能, 则有:

(1) 理想气体的内能是\_\_\_\_\_的单值函数;

(2) 真实气体的内能是\_\_\_\_\_的函数.

10. 刚性双原子分子的理想气体在等压下膨胀所作的功为  $W$ ，则传递给气体的热量为\_\_\_\_\_.

11. 常温常压下, 一定量的某种理想气体(其分子可视为刚性分子, 自由度为  $i$ ), 在等压过程中吸热为  $Q$ , 对外作功为  $W$ , 内能增加为  $\Delta E$ , 则

$W/Q = \underline{\hspace{2cm}}$ .                       $\Delta E / Q = \underline{\hspace{2cm}}$ .

12. 一理想卡诺热机在温度为 300 K 和 400 K 的两个热源之间工作.

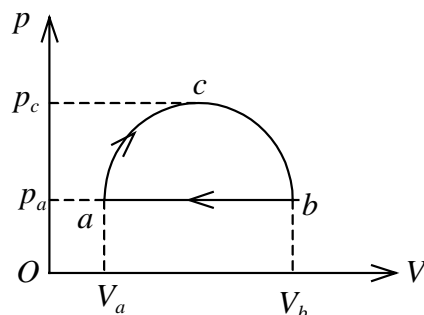
(1) 若把高温热源温度提高 100 K, 则其效率可提高为原来的\_\_\_\_\_倍;

(2) 若把低温热源温度降低 100 K, 则其逆循环的致冷系数将降低为原来

的\_\_\_\_\_倍.

13. 有  $\nu$  摩尔理想气体, 作如图所示的循环过程  $acba$ , 其中  $acb$  为半圆弧,  $b-a$  为等压线,  $p_c=2p_a$ . 令气体进行  $a-b$  的等压过程时吸热  $Q_{ab}$ , 则在此循环过程中气体净吸热量

$Q$  \_\_\_\_\_  $Q_{ab}$ . (填入:  $>$ ,  $<$  或  $=$ )



14. 由绝热材料包围的容器被隔板隔为两半, 左边是理想气体, 右边真空. 如果

把隔板撤去, 气体将进行自由膨胀过程, 达到平衡后气体的温度\_\_\_\_\_ (升高、降低或不变), 气体的熵\_\_\_\_\_ (增加、减小或不变).

15. 1 mol 理想气体在气缸中进行无限缓慢的膨胀, 其体积由  $V_1$  变到  $V_2$ .

(1) 当气缸处于绝热情况下时, 理想气体熵的增量  $\Delta S =$  \_\_\_\_\_.

(2) 当气缸处于等温情况下时, 理想气体熵的增量  $\Delta S =$  \_\_\_\_\_.

一. 选择题(每题 1 分, 共 15 分)

1C 2B 3C 4B 5D 6A 7C 8A 9B 10B 11D 12B 13A 14C  
15D

一. 填空题(每题 1 分, 共 15 分)

1.  $1.33 \times 10^5 \text{ Pa}$  1 分

2. 氢 0.5 分;  $1.58 \times 10^3$  0.5 分

3. 425 0.5 分;  $1.9 \times 10^{28}$  0.5 分

4. 麦克斯韦 0.5 分; 玻尔兹曼 0.5 分

5. 
$$\frac{N_A f_A(v) + N_B f_B(v)}{N_A + N_B}$$
 1 分

6. 质量 0.3 分; 动能 0.3 分; 定向动量 0.4 分

7. 1 1 分

8.  $S_1 + S_2$  0.5 分;  $-S_1$  0.5 分

9. 温度  $T$  0.5 分; 温度  $T$  和体积  $V$  (或温度  $T$  和压强  $p$ ) 0.5 分

10.  $\frac{7}{2}W$  1 分

11.  $\frac{2}{i+2}$  0.5 分;  $\frac{i}{i+2}$  0.5 分

12. 1.6 0.5 分;  $\frac{1}{3}$  0.5 分

13.  $<$  1 分

14. 不变 0.5 分; 增加 0.5 分

15. 0 0.5 分;  $R \ln \frac{V_2}{V_1}$  0.5 分



一、选择题：（每题 3 分,共 30 分）

1. 把双缝干涉实验装置放在折射率为  $n$  的水中, 两缝间距离为  $d$ , 双缝到屏的距离为  $D$  ( $D \gg d$ ), 所用单色光在真空中的波长为  $\lambda$ , 则屏上干涉条纹中相邻的明纹之间的距离是

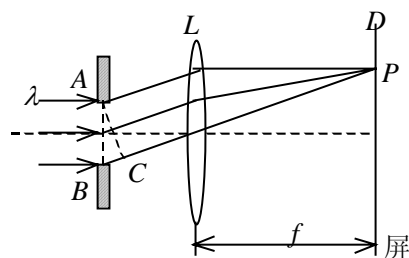
- (A)  $\lambda D / (nd)$       (B)  $n\lambda D / d$ .  
(C)  $\lambda d / (nD)$ .      (D)  $\lambda D / (2nd)$

[      ]

2. 一束波长为  $\lambda$  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)  $\lambda$ .  
(C)  $3\lambda / 2$  .      (D)  $2\lambda$  .

[      ]



3. 某元素的特征光谱中含有波长分别为  $\lambda_1 = 450 \text{ nm}$  和  $\lambda_2 = 750 \text{ nm}$  ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ) 的光谱线. 在光栅光谱中, 这两种波长的谱线有重叠现象, 重叠处  $\lambda_2$  的谱线的级数将是

- (A) 2 , 3 , 4 , 5 . . . . .  
(B) 2 , 5 , 8 , 11. . . . .  
(C) 2 , 4 , 6 , 8 . . . . .  
(D) 3 , 6 , 9 , 12. . . . .

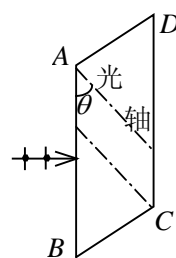
[      ]

4. 一束光强为  $I_0$  的自然光, 相继通过三个偏振片  $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$  后, 出射光的光强为  $I = I_0 / 8$ . 已知  $P_1$  和  $P_3$  的偏振化方向相互垂直, 若以入射光线为轴, 旋转  $P_2$ , 要使出射光的光强为零,  $P_2$  最少要转过的角度是

- (A)  $30^\circ$  .      (B)  $45^\circ$  .  
(C)  $60^\circ$  .      (D)  $90^\circ$  .

[      ]

5.  $ABCD$  为一块方解石的一个截面,  $AB$  为垂直于纸面的晶体平面与纸面的交线. 光轴方向在纸面内且与  $AB$  成一锐角  $\theta$ , 如图所示. 一束平行的单色自然光垂直于  $AB$  端面入射. 在方解石内折射光分解为  $o$  光和  $e$  光,  $o$  光和  $e$  光的



- (A) 传播方向相同, 电场强度的振动方向互相垂直.  
(B) 传播方向相同, 电场强度的振动方向不互相垂直.  
(C) 传播方向不同, 电场强度的振动方向互相垂直.  
(D) 传播方向不同, 电场强度的振动方向不互相垂直.

[      ]

6. 一匀质矩形薄板, 在它静止时测得其长为  $a$ , 宽为  $b$ , 质量为  $m_0$ . 由此可算出其面积密度为  $m_0/ab$ . 假定该薄板沿长度方向以接近光速的速度  $v$  作匀速直线运动, 此时再测算该矩形薄板的面积密度则为

- (A)  $\frac{m_0\sqrt{1-(v/c)^2}}{ab}$  (B)  $\frac{m_0}{ab\sqrt{1-(v/c)^2}}$   
 (C)  $\frac{m_0}{ab[1-(v/c)^2]}$  (D)  $\frac{m_0}{ab[1-(v/c)^2]^{3/2}}$

[       ]

7. 在氢原子的 L 壳层中, 电子可能具有的量子数( $n, l, m_l, m_s$ )是

- (A)  $(1, 0, 0, -\frac{1}{2})$ . (B)  $(2, 1, -1, \frac{1}{2})$ .  
 (C)  $(2, 0, 1, -\frac{1}{2})$ . (D)  $(3, 1, -1, -\frac{1}{2})$ .

[       ]

8. 量子力学得出, 频率为  $\nu$  的线性谐振子, 其能量只能为

- (A)  $E = h\nu$ .  
 (B)  $E = nh\nu, (n = 0, 1, 2, 3\cdots)$ .  
 (C)  $E = \frac{1}{2}nh\nu, (n = 0, 1, 2, 3\cdots)$ .  
 (D)  $E = (n + \frac{1}{2})h\nu, (n = 0, 1, 2, 3\cdots)$ .

[       ]

9. 如果(1)锗用铈(五价元素)掺杂, (2)硅用铝(三价元素)掺杂, 则分别获得的半导体属于下述类型:

- (A) (1), (2)均为 n 型半导体.  
 (B) (1)为 n 型半导体, (2)为 p 型半导体.  
 (C) (1)为 p 型半导体, (2)为 n 型半导体.  
 (D) (1), (2)均为 p 型半导体.

[       ]

10. 在激光器中利用光学谐振腔

- (A) 可提高激光束的方向性, 而不能提高激光束的单色性.  
 (B) 可提高激光束的单色性, 而不能提高激光束的方向性.  
 (C) 可同时提高激光束的方向性和单色性.  
 (D) 既不能提高激光束的方向性也不能提高其单色性.

[       ]

二、填空题：（每题 3 分,共 30 分）

1. 在迈克耳孙干涉仪的一支光路上，垂直于光路放入折射率为  $n$ 、厚度为  $h$  的透明介质薄膜。与未放入此薄膜时相比较，两光束光程差的改变量为\_\_\_\_\_。

2. 在单缝夫琅禾费衍射实验中，用单色光垂直照射，若衍射图样的中央明纹极大光强为  $I_0$ ， $a$  为单缝宽度， $\lambda$  为入射光波长，则在衍射角  $\theta$  方向上的光强度

$I =$  \_\_\_\_\_。

3. 假设某一介质对于空气的临界角是  $45^\circ$ ，则光从空气射向此介质时的布儒斯特角是\_\_\_\_\_。

4. 波长为  $600 \text{ nm}$  ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ) 的单色光，垂直入射到某种双折射材料制成的四分之一波片上。已知该材料对非寻常光的主折射率为 1.74，对寻常光的折射率为 1.71，则此波片的最小厚度为\_\_\_\_\_。

5. 当惯性系  $S$  和  $S'$  的坐标原点  $O$  和  $O'$  重合时，有一点光源从坐标原点发出一光脉冲，在  $S$  系中经过一段时间  $t$  后（在  $S'$  系中经过时间  $t'$ ），此光脉冲的球面方程（用直角坐标系）分别为：

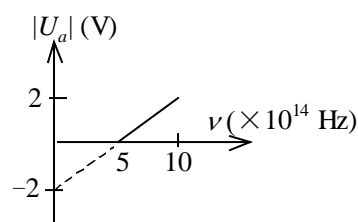
$S$  系\_\_\_\_\_；

$S'$  系\_\_\_\_\_。

6. 已知一静止质量为  $m_0$  的粒子，其固有寿命为实验室测量到的寿命的  $1/n$ ，则此粒子的动能是\_\_\_\_\_。

7. 在光电效应实验中，测得某金属的遏止电压  $|U_a|$  与入射光频率  $\nu$  的关系曲线如图所示，由此可知该金属的红限频率  $\nu_0 =$  \_\_\_\_\_ Hz；逸出功

$A =$  \_\_\_\_\_ eV.



8. 用文字叙述黑体辐射的斯特藩—玻尔兹曼定律的内容是：

\_\_\_\_\_.

9. 设描述微观粒子运动的波函数为  $\Psi(\vec{r}, t)$ ，则  $\Psi\Psi^*$  表示

\_\_\_\_\_；

$\Psi(\vec{r}, t)$  须满足的条件是\_\_\_\_\_；其归一化条

件是\_\_\_\_\_.

10. 根据量子力学原理，当氢原子中电子的动量矩  $L = \sqrt{6}\hbar$  时， $L$  在外磁场方向

上的投影  $L_z$  可取的值分别为\_\_\_\_\_.

### 三、计算题（每题 10 分，共 40 分）

1. 一平面透射多缝光栅，当用波长  $\lambda_1 = 600 \text{ nm}$  ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ) 的单色平行光垂直入射时，在衍射角  $\theta = 30^\circ$  的方向上可以看到第 2 级主极大，并且在该处恰能分辨波长差  $\Delta\lambda = 5 \times 10^{-3} \text{ nm}$  的两条谱线。当用波长  $\lambda_2 = 400 \text{ nm}$  的单色平行光垂直入射时，在衍射角  $\theta = 30^\circ$  的方向上却看不到本应出现的第 3 级主极大。求光栅常数  $d$  和总缝数  $N$ ，再求可能的缝宽  $a$ 。

2. 火箭  $A$  以  $0.8c$  的速率相对地球向正北方向飞行，火箭  $B$  以  $0.6c$  的速率相对地球向正西方向飞行（ $c$  为真空中光速）。求在火箭  $B$  中观察火箭  $A$  的速度的大小和方向。

3. 已知氢光谱的某一线系的极限波长为  $3647 \text{ \AA}$ ，其中有一谱线波长为  $6565 \text{ \AA}$ 。试由玻尔氢原子理论，求与该波长相应的始态与终态能级的能量。

$$(R = 1.097 \times 10^7 \text{ m}^{-1})$$

4.  $\alpha$  粒子在磁感应强度为  $B = 0.025 \text{ T}$  的均匀磁场中沿半径为  $R = 0.83 \text{ cm}$  的圆形轨道运动。

(1) 试计算其德布罗意波长。

(2) 若使质量  $m = 0.1 \text{ g}$  的小球以与  $\alpha$  粒子相同的速率运动。则其波长为多少？

( $\alpha$  粒子的质量  $m_\alpha = 6.64 \times 10^{-27} \text{ kg}$ ，普朗克常量  $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ ，基本电荷  $e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$ )



一、选择题：（每题 3 分,共 30 分）

1.(A) 2. (B) 3. (D) 4. (B) 5. (C) 6. (C) 7. (B) 8.(D) 9. (B) 10. (C)

二、填空题：（每题 3 分,共 30 分）

1.  $2(n-1)h$  3 分

$$2. \frac{I_0 \sin^2(\frac{\pi a \sin \theta}{\lambda})}{\frac{\pi^2 a^2 \sin^2 \theta}{\lambda^2}} \quad 3 \text{ 分}$$

或写成  $I = I_0 \frac{\sin^2 u}{u^2}, \quad u = \frac{\pi a \sin \theta}{\lambda}$

3.  $54.7^\circ$  3 分

4.  $5 \mu\text{m}$  3 分

5.  $x^2 + y^2 + z^2 = c^2 t^2$  1 分

$x'^2 + y'^2 + z'^2 = c^2 t'^2$  2 分

6.  $m_0 c^2 (n-1)$  3 分

7.  $5 \times 10^{14}$  2 分

2 2 分

8. 黑体的辐射出射度与绝对温度的四次方成正比 3 分

9. 粒子在  $t$  时刻在  $(x, y, z)$  处出现的概率密度 1 分

单值、有限、连续 1 分

$\iiint |\Psi|^2 dx dy dz = 1$  1 分

10.  $0, \pm \hbar, \pm 2\hbar$  3 分

三、计算题（每题 10 分, 共计 40 分）

1. 解：据光栅公式

$$d \sin \psi = k\lambda$$

得：
$$d = \frac{k\lambda}{\sin \psi} = \frac{2 \times 600}{\sin 30^\circ} = 2.4 \times 10^3 \text{ nm} = 2.4 \mu\text{m} \quad 3 \text{ 分}$$

据光栅分辨本领公式  $R = \lambda / \Delta\lambda = kN$

得：
$$N = \frac{\lambda}{k\Delta\lambda} = 60000. \quad 3 \text{ 分}$$

在  $\theta = 30^\circ$  的方向上, 波长  $\lambda_2 = 400 \text{ nm}$  的第 3 级主极大缺级, 因而在此处恰好是波长  $\lambda_2$  的单缝衍射的一个极小, 因此有:

$$d \sin 30^\circ = 3\lambda_2, \quad a \sin 30^\circ = k'\lambda_2$$

$\therefore a = k'd / 3, \quad k' = 1 \text{ 或 } 2 \quad 2 \text{ 分}$

缝宽  $a$  有下列两种可能:

当  $k' = 1$  时, 
$$a = \frac{1}{3}d = \frac{1}{3} \times 2.4 \mu\text{m} = 0.8 \mu\text{m} . \quad 1 \text{ 分}$$

当  $k' = 2$  时, 
$$a = 2 \times d / 3 = 2 \times 2.4 / 3 \mu\text{m} = 1.6 \mu\text{m}. \quad 1 \text{ 分}$$

2. 解：选地球为  $K$  系，火箭  $B$  为  $K'$  系，正东方向为  $x$  和  $x'$  轴的正向，正北方向为  $y$  和  $y'$  轴的正向。火箭  $A$  为运动物体。则  $K'$  对  $K$  系的速度  $u = -0.6c$ ，火箭  $A$  对地的速度  $v_x = 0$ ， $v_y = 0.8c$ ， $v_z = 0$ 。

根据狭义相对论的速度变换公式：

$$v'_x = \frac{v_x - u}{1 - (uv_x/c^2)} = 0.6c \quad 3 \text{ 分}$$

$$v'_y = \frac{v_y \sqrt{1 - u^2/c^2}}{1 - (uv_x/c^2)} = 0.64c \quad 3 \text{ 分}$$

$$v'_z = \frac{v_z \sqrt{1 - u^2/c^2}}{1 - (uv_x/c^2)} = 0 \quad 2 \text{ 分}$$

在火箭  $B$  中测得火箭  $A$  的速度  $\vec{v}'$  的大小为

$$|\vec{v}'| = \sqrt{(v'_x)^2 + (v'_y)^2 + (v'_z)^2} = 0.877c \quad 1 \text{ 分}$$

$$\vec{v}' \text{ 与 } x' \text{ 轴之间的夹角为 } \alpha = \cos^{-1} \frac{v'_x}{|\vec{v}'|} = 46.83^\circ \quad 1 \text{ 分}$$

3. 解：极限波数  $\tilde{\nu} = 1/\lambda_\infty = R/k^2$  可求出该线系的共同终态。 1 分

$$k = \sqrt{R\lambda_\infty} = 2 \quad 2 \text{ 分}$$

$$\tilde{\nu} = \frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2}\right) \quad 2 \text{ 分}$$

由  $\lambda = 6565 \text{ \AA}$  可得始态  $n = \sqrt{\frac{R\lambda\lambda_\infty}{\lambda - \lambda_\infty}} = 3 \quad 2 \text{ 分}$

由  $E_n = \frac{E_1}{n^2} = -\frac{13.6}{n^2} \text{ eV} \quad 1 \text{ 分}$

可知终态  $n = 2, E_2 = -3.4 \text{ eV} \quad 1 \text{ 分}$

始态  $n = 3, E_3 = -1.51 \text{ eV} \quad 1 \text{ 分}$

4. 解：(1) 德布罗意公式：  $\lambda = h/(mv)$

由题可知  $\alpha$  粒子受磁场力作用作圆周运动

$$qvB = m_\alpha v^2 / R, \quad m_\alpha v = qRB$$

又  $q = 2e$  则  $m_\alpha v = 2eRB \quad 4 \text{ 分}$

故  $\lambda_\alpha = h/(2eRB) = 1.00 \times 10^{-11} \text{ m} = 1.00 \times 10^{-2} \text{ nm} \quad 3 \text{ 分}$

(2) 由上一问可得  $v = 2eRB/m_\alpha$

对于质量为  $m$  的小球

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{2eRB} \cdot \frac{m_\alpha}{m} = \frac{m_\alpha}{m} \cdot \lambda_\alpha = 6.64 \times 10^{-34} \text{ m} \quad 3 \text{ 分}$$

一、选择题：

1. 按照麦克斯韦分子速率分布定律，具有最概然速率  $v_p$  的分子，其动能为：

- (A)  $\frac{3}{2}RT$ . (B)  $\frac{3}{2}kT$ .  
(C)  $kT$ . (D)  $\frac{1}{2}RT$ .

(式中  $R$  为普适气体常量， $k$  为玻尔兹曼常量)

[ ]

2. 某理想气体分别进行了如图所示的两个卡诺循环：I ( $abcda$ ) 和 II ( $a'b'c'd'a'$ )，且两个循环曲线所围面积相等。设循环 I 的效率为  $\eta$ ，每次循环在高温热源处吸的热量为  $Q$ ，循环 II 的效率为  $\eta'$ ，每次循环在高温热源处吸的热量为  $Q'$ ，则

- (A)  $\eta > \eta'$ ， $Q < Q'$ . (B)  $\eta > \eta'$ ， $Q > Q'$ .  
(C)  $\eta < \eta'$ ， $Q < Q'$ . (D)  $\eta < \eta'$ ， $Q > Q'$ .

[ ]

3. 一定量的理想气体向真空作绝热自由膨胀，体积由  $V_1$  增至  $V_2$ ，在此过程中气体的

- (A) 内能不变，熵增加. (B) 内能不变，熵减少.  
(C) 内能不变，熵不变. (D) 内能增加，熵增加.

[ ]

4. 把双缝干涉实验装置放在折射率为  $n$  的水中，两缝间距离为  $d$ ，双缝到屏的距离为  $D$  ( $D \gg d$ )，所用单色光在真空中的波长为  $\lambda$ ，则屏上干涉条纹中相邻的明纹之间的距离是

- (A)  $\lambda D / (nd)$  (B)  $n\lambda D / d$ .  
(C)  $\lambda d / (nD)$ . (D)  $\lambda D / (2nd)$

[ ]

5. 一束波长为  $\lambda$  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)  $\lambda$ .  
(C)  $3\lambda / 2$ . (D)  $2\lambda$ .

[ ]

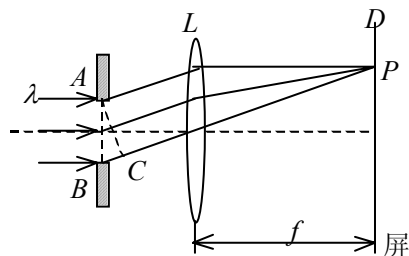
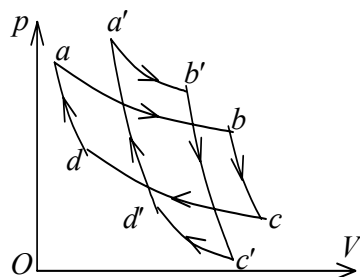
6. 一束光强为  $I_0$  的自然光，相继通过三个偏振片  $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$  后，出射光的光强为  $I = I_0 / 8$ 。已知  $P_1$  和  $P_3$  的偏振化方向相互垂直，若以入射光线为轴，旋转  $P_2$ ，要使出射光的光强为零， $P_2$  最少要转过的角度是

- (A)  $30^\circ$ . (B)  $45^\circ$ .  
(C)  $60^\circ$ . (D)  $90^\circ$ .

[ ]

7. 一匀质矩形薄板，在它静止时测得其长为  $a$ ，宽为  $b$ ，质量为  $m_0$ 。由此可算出其面积密度为  $m_0 / ab$ 。假定该薄板沿长度方向以接近光速的速度  $v$  作匀速直线运动，此时再测算该矩形薄板的面积密度则为

- (A)  $\frac{m_0 \sqrt{1 - (v/c)^2}}{ab}$  (B)  $\frac{m_0}{ab \sqrt{1 - (v/c)^2}}$



(C)  $\frac{m_0}{ab[1-(v/c)^2]}$  (D)  $\frac{m_0}{ab[1-(v/c)^2]^{3/2}}$

[ ]

8. 在氢原子的 L 壳层中, 电子可能具有的量子数( $n, l, m_l, m_s$ )是

- (A)  $(1, 0, 0, -\frac{1}{2})$ . (B)  $(2, 1, -1, \frac{1}{2})$ .  
(C)  $(2, 0, 1, -\frac{1}{2})$ . (D)  $(3, 1, -1, -\frac{1}{2})$ .

[ ]

9. 如果(1)锗用铈(五价元素)掺杂, (2)硅用铝(三价元素)掺杂, 则分别获得的半导体属于下述类型:

- (A) (1), (2)均为 n 型半导体.  
(B) (1)为 n 型半导体, (2)为 p 型半导体.  
(C) (1)为 p 型半导体, (2)为 n 型半导体.  
(D) (1), (2)均为 p 型半导体.

[ ]

10. 在激光器中利用光学谐振腔

- (A) 可提高激光束的方向性, 而不能提高激光束的单色性.  
(B) 可提高激光束的单色性, 而不能提高激光束的方向性.  
(C) 可同时提高激光束的方向性和单色性.  
(D) 既不能提高激光束的方向性也不能提高其单色性.

[ ]

二、填空题:

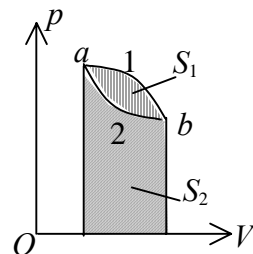
1. 在容积为  $10^{-2} \text{ m}^3$  的容器中, 装有质量 100 g 的气体, 若气体分子的方均根速率为  $200 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 则气体的压强为\_\_\_\_\_.

2. 如图所示, 已知图中画不同斜线的两部分的面积分别为  $S_1$  和  $S_2$ , 那么

(1) 如果气体的膨胀过程为  $a-1-b$ , 则气体对外做功  $W=$ \_\_\_\_\_;

(2) 如果气体进行  $a-2-b-1-a$  的循环过程, 则它对外做功

$W=$ \_\_\_\_\_.



3. 在迈克耳孙干涉仪的一支光路上, 垂直于光路放入折射率为  $n$ 、厚度为  $h$  的透明介质薄膜. 与未放入此薄膜时相比较, 两光束光程差的改变量为\_\_\_\_\_.

4. 假设某一介质对于空气的临界角是  $45^\circ$ , 则光从空气射向此介质时的布儒斯特角是\_\_\_\_\_.

5. 波长为  $600 \text{ nm}$  ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ) 的单色光, 垂直入射到某种双折射材料制成的四分之一波片上. 已知该材料对非寻常光的主折射率为 1.74, 对寻常光的折射率为 1.71, 则此波片的最小厚度为\_\_\_\_\_.

6. 当惯性系  $S$  和  $S'$  的坐标原点  $O$  和  $O'$  重合时, 有一点光源从坐标原点发出一光脉冲, 在  $S$  系中经过一段时间  $t$  后 (在  $S'$  系中经过时间  $t'$ ), 此光脉冲的球面方程 (用直角坐标系) 分别为:

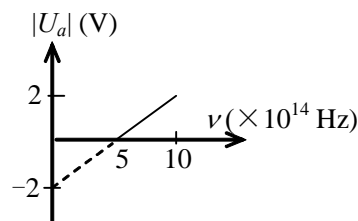
$S$  系\_\_\_\_\_;

$S'$  系\_\_\_\_\_.

7. 已知一静止质量为  $m_0$  的粒子, 其固有寿命为实验室测量到的寿命的  $1/n$ , 则此粒子的动能是\_\_\_\_\_.

8. 在光电效应实验中, 测得某金属的遏止电压  $|U_a|$  与入射光频率  $\nu$  的关系曲线如图所示, 由此可知该金属的红限频率

$\nu_0 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Hz}$ ; 逸出功  $A = \underline{\hspace{2cm}} \text{ eV}$ .



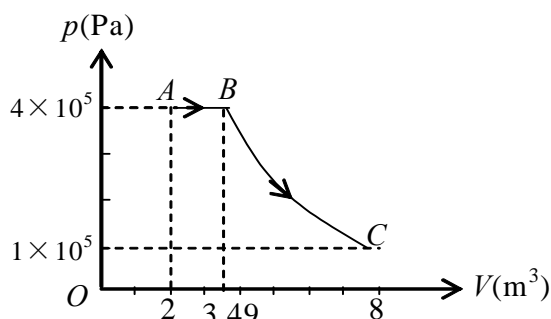
9. 设描述微观粒子运动的波函数为  $\Psi(\vec{r}, t)$ , 则  $\Psi\Psi^*$  表示

\_\_\_\_\_;  
 $\Psi(\vec{r}, t)$  须满足的条件是\_\_\_\_\_; 其归一化条件是

10. 根据量子力学原理, 当氢原子中电子的动量矩  $L = \sqrt{6}\hbar$  时,  $L$  在外磁场方向上的投影  $L_z$  可取的值分别为\_\_\_\_\_.

### 三、计算题

1. 一定量的单原子分子理想气体, 从  $A$  态出发经等压过程膨胀到  $B$  态, 又经绝热过程膨胀到  $C$  态, 如图所示. 试求这全过程中气体对外所作的功, 内能的增量以及吸收的热量.



2. 一束平行光垂直入射到某个光栅上, 该光束有两种波长的光,  $\lambda_1 = 440 \text{ nm}$ ,  $\lambda_2 = 660 \text{ nm}$  ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ). 实验发现, 两种波长的谱线(不计中央明纹)第二次重合于衍射角  $\varphi = 60^\circ$  的方向上. 求此光栅的光栅常数  $d$ .

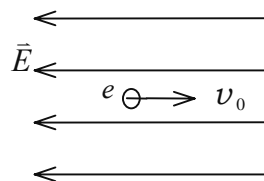
3. 用波长  $\lambda_0 = 1 \text{ \AA}$  的光子做康普顿实验.

(1) 散射角  $\phi = 90^\circ$  的康普顿散射波长是多少?

(2) 反冲电子获得的动能有多大?

(普朗克常量  $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ , 电子静止质量  $m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$ )

4. 如图所示, 一电子以初速度  $v_0 = 6.0 \times 10^6 \text{ m/s}$  逆着场强方向飞入电场强度为  $E = 500 \text{ V/m}$  的均匀电场中, 问该电子在电场中要飞行多远距离  $d$ , 可使得电子的德布罗意波长达到  $\lambda = 1 \text{ \AA}$ . (飞行过程中, 电子的质量认为不变, 即为静止质量  $m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$ ; 基本电荷  $e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$ ; 普朗克常量  $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ ).



## 参考答案

一、选择题:

1.(C) 2.(D) 3.(A) 4.(A) 5.(B) 6.(B) 7.(C) 8.(B) 9.(B) 10.(C)

二、填空题:

1.  $1.33 \times 10^5 \text{ Pa}$

2.  $S_1 + S_2$ ;  $-S_1$

3.  $2(n - 1)h$

4.  $54.7^\circ$
5.  $5\text{ }\mu\text{m}$
6.  $x^2 + y^2 + z^2 = c^2 t^2$   
 $x'^2 + y'^2 + z'^2 = c^2 t'^2$
7.  $m_0 c^2 (n-1)$
8.  $5 \times 10^{14}$       2
9. 粒子在  $t$  时刻在  $(x, y, z)$  处出现的概率密度  
 单值、有限、连续

$$\iiint |\Psi|^2 dx dy dz = 1$$

10.  $0, \pm \hbar, \pm 2\hbar$

### 三、计算题

1. 解：由图可看出  $p_A V_A = p_C V_C$   
 从状态方程  $pV = \nu RT$  可知  $T_A = T_C$  ,  
 因此全过程  $A \rightarrow B \rightarrow C$  的  $\Delta E = 0$ .

$B \rightarrow C$  过程是绝热过程, 有  $Q_{BC} = 0$ .

$A \rightarrow B$  过程是等压过程, 有

$$Q_{AB} = \nu C_p (T_B - T_A) = \frac{5}{2} (p_B V_B - p_A V_A) = 14.9 \times 10^5 \text{ J}.$$

故全过程  $A \rightarrow B \rightarrow C$  的  $Q = Q_{BC} + Q_{AB} = 14.9 \times 10^5 \text{ J}$ .

根据热一律  $Q = W + \Delta E$ , 得全过程  $A \rightarrow B \rightarrow C$  的

$$W = Q - \Delta E = 14.9 \times 10^5 \text{ J} .$$

2. 解：由光栅衍射主极大公式得

$$d \sin \varphi_1 = k_1 \lambda_1$$

$$d \sin \varphi_2 = k_2 \lambda_2$$

$$\frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_2} = \frac{k_1 \lambda_1}{k_2 \lambda_2} = \frac{k_1 \times 440}{k_2 \times 660} = \frac{2k_1}{3k_2}$$

当两谱线重合时有  $\varphi_1 = \varphi_2$

即 
$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{3}{2} = \frac{6}{4} = \frac{9}{6} \quad . . . . .$$

两谱线第二次重合即是

$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{6}{4}, \quad k_1 = 6, \quad k_2 = 4$$

由光栅公式可知  $d \sin 60^\circ = 6\lambda_1$

$$d = \frac{6\lambda_1}{\sin 60^\circ} = 3.05 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

3. 解：(1) 康普顿散射光子波长改变：

$$\Delta \lambda = (h m_e c) (1 - \cos \phi) = 0.024 \times 10^{-10} \text{ m}$$

$$\lambda = \lambda_0 + \Delta \lambda = 1.024 \times 10^{-10} \text{ m}$$

- (2) 设反冲电子获得动能  $E_K = (m - m_e) c^2$ , 根据能量守恒：

$$h\nu_0 = h\nu + (m - m_e) c^2 = h\nu + E_K$$

$$\begin{aligned} \text{即} \quad & hc / \lambda_0 = [hc / (\lambda_0 + \Delta\lambda)] + E_K \\ \text{故} \quad & E_K = hc\Delta\lambda / [\lambda_0(\lambda_0 + \Delta\lambda)] = 4.66 \times 10^{-17} \text{ J} = 291 \text{ eV} \end{aligned}$$

$$4. \text{ 解:} \quad \lambda = h / (m_e v) \quad \text{①}$$

$$v^2 - v_0^2 = 2ad \quad \text{②}$$

$$eE = m_e a \quad \text{③}$$

$$\text{由①式:} \quad v = h / (m_e \lambda) = 7.28 \times 10^6 \text{ m/s}$$

$$\text{由③式:} \quad a = eE / m_e = 8.78 \times 10^{13} \text{ m/s}^2$$

$$\text{由②式:} \quad d = (v^2 - v_0^2) / (2a) = 0.0968 \text{ m} = 9.68 \text{ cm}$$





一、选择题：

1. 1 mol 刚性双原子分子理想气体，当温度为  $T$  时，其内能为

- (A)  $\frac{3}{2}RT$  .                      (B)  $\frac{3}{2}kT$  .  
(C)  $\frac{5}{2}RT$  .                      (D)  $\frac{5}{2}kT$  .

(式中  $R$  为普适气体常量， $k$  为玻尔兹曼常量)

[        ]

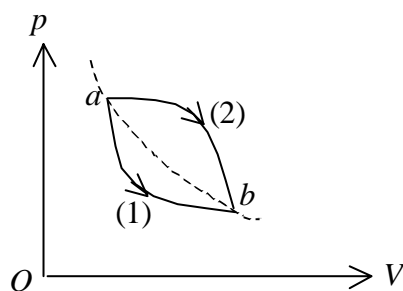
2. 速率分布函数  $f(v)$  的物理意义为：

- (A) 具有速率  $v$  的分子占总分子数的百分比.  
(B) 速率分布在  $v$  附近的单位速率间隔中的分子数占总分子数的百分比.  
(C) 具有速率  $v$  的分子数.  
(D) 速率分布在  $v$  附近的单位速率间隔中的分子数.

[        ]

3. 一定量的理想气体，从  $p-V$  图上初态  $a$  经历(1)或(2)过程到达末态  $b$ ，已知  $a$ 、 $b$  两态处于同一条绝热线上(图中虚线是绝热线)，则气体在

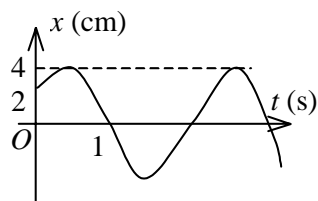
- (A) (1)过程中吸热，(2) 过程中放热.  
(B) (1)过程中放热，(2) 过程中吸热.  
(C) 两种过程中都吸热.  
(D) 两种过程中都放热.



[        ]

4. 一简谐振动曲线如图所示. 则振动周期是

- (A) 2.62 s.                      (B) 2.40 s.  
(C) 2.20 s.                      (D) 2.00 s.



[        ]

5. 一平面简谐波在弹性媒质中传播，在媒质质元从最大位移处回到平衡位置的过程中

- (A) 它的势能转换成动能.  
(B) 它的动能转换成势能.  
(C) 它从相邻的一段媒质质元获得能量，其能量逐渐增加.  
(D) 它把自己的能量传给相邻的一段媒质质元，其能量逐渐减小.

[        ]

6. 一束波长为  $\lambda$  的单色光由空气垂直入射到折射率为  $n$  的透明薄膜上，透明薄膜放在空气中，要使反射光得到干涉加强，则薄膜最小的厚度为

- (A)  $\lambda/4$  .                      (B)  $\lambda/(4n)$  .  
(C)  $\lambda/2$  .                      (D)  $\lambda/(2n)$  .

[        ]

7. 一束光强为  $I_0$  的自然光垂直穿过两个偏振片，且此两偏振片的偏振化方向成  $45^\circ$  角，则穿过两

个偏振片后的光强  $I$  为

- (A)  $I_0/4\sqrt{2}$  . (B)  $I_0/4$ .  
(C)  $I_0/2$ . (D)  $\sqrt{2}I_0/2$ .

[ ]

8. 若  $\alpha$  粒子(电荷为  $2e$ )在磁感应强度为  $B$  均匀磁场中沿半径为  $R$  的圆形轨道运动, 则  $\alpha$  粒子的德布罗意波长是

- (A)  $h/(2eRB)$ . (B)  $h/(eRB)$ .  
(C)  $1/(2eRBh)$ . (D)  $1/(eRBh)$ .

[ ]

9. 氢原子中处于 3d 量子态的电子, 描述其量子态的四个量子数( $n, l, m_l, m_s$ )可能取的值为

- (A)  $(3, 0, 1, -\frac{1}{2})$ . (B)  $(1, 1, 1, -\frac{1}{2})$ .  
(C)  $(2, 1, 2, \frac{1}{2})$ . (D)  $(3, 2, 0, \frac{1}{2})$ .

[ ]

10. 与绝缘体相比较, 半导体能带结构的特点是

- (A) 导带也是空带.  
(B) 满带与导带重合.  
(C) 满带中总是有空穴, 导带中总是有电子.  
(D) 禁带宽度较窄.

[ ]

二、填空题: (每题 3 分, 共 30 分)

1. A、B、C 三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  $\overline{w_A}:\overline{w_B}:\overline{w_C}=1:2:4$ , 则它们的压强之比  $p_A:p_B:p_C=$ \_\_\_\_\_.

2. 已知 1 mol 的某种理想气体(其分子可视为刚性分子), 在等压过程中温度上升 1 K, 内能增加了 20.78 J, 则气体对外做功为\_\_\_\_\_, 气体吸收热量为\_\_\_\_\_.

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

3. 两个同方向同频率的简谐振动, 其合振动的振幅为 20 cm, 与第一个简谐振动的相位差为  $\phi-\phi_1=\pi/6$ . 若第一个简谐振动的振幅为  $10\sqrt{3} \text{ cm}=17.3 \text{ cm}$ , 则第二个简谐振动的振幅为\_\_\_\_\_ cm, 第一、二两个简谐振动的相位差  $\phi_1-\phi_2$  为\_\_\_\_\_.

4. 一平面简谐波沿  $x$  轴负方向传播. 已知  $x=-1 \text{ m}$  处质点的振动方程为  $y=A\cos(\omega t+\phi)$ , 若波速为  $u$ , 则此波的表达式为\_\_\_\_\_.

5. 把双缝干涉实验装置放在折射率为  $n$  的媒质中, 双缝到观察屏的距离为  $D$ , 两缝之间的距离为  $d$  ( $d\ll D$ ), 入射光在真空中的波长为  $\lambda$ , 则屏上干涉条纹中相邻明纹的间距是\_\_\_\_\_.

6. 在单缝的夫琅禾费衍射实验中, 屏上第三级暗纹对应于单缝处波面可划分\_\_\_\_\_个半波带, 若将缝宽缩小一半, 原来第三级暗纹处将是\_\_\_\_\_纹.

7. 某单色光垂直入射到一个每毫米有 800 条刻线的光栅上, 如果第一级谱线的衍射角为  $30^\circ$ , 则入射光的波长应为\_\_\_\_\_.

8. 氢原子的运动速率等于它在 300 K 时的方均根速率时, 它的德布罗意波长是\_\_\_\_\_. 质量为  $M=1 \text{ g}$ , 以速度  $v=1 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  运动的小球的德布罗意波长是\_\_\_\_\_.

(普朗克常量为  $h=6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ , 玻尔兹曼常量  $k=1.38 \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$ , 氢原子质量  $m_{\text{H}}=1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$ )

9. 根据量子力学理论, 氢原子中电子的动量矩为  $L = \sqrt{l(l+1)} \hbar$ , 当主量子数  $n=3$  时, 电子动量矩的可能取值为\_\_\_\_\_.

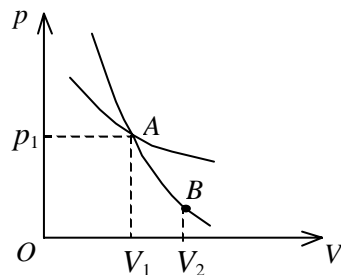
10. 在下列给出的各种条件中, 哪些是产生激光的条件, 将其标号列下:

- \_\_\_\_\_.  
 (1)自发辐射. (2)受激辐射. (3)粒子数反转.  
 (4)三能极系统. (5)谐振腔.

三. 计算题 (每题 10 分, 共 40 分)

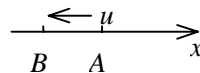
1. 某理想气体在  $p-V$  图上等温线与绝热线相交于  $A$  点, 如图. 已知  $A$  点的压强  $p_1=2 \times 10^5 \text{ Pa}$ , 体积  $V_1=0.5 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ , 而且  $A$  点处等温线斜率与绝热线斜率之比为 0.714. 现使气体从  $A$  点绝热膨胀至  $B$  点, 其体积  $V_2=1 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ , 求

- (1)  $B$  点处的压强;  
 (2) 在此过程中气体对外作的功.



2. 如图, 一平面波在介质中以波速  $u=20 \text{ m/s}$  沿  $x$  轴负方向传播, 已知  $A$  点的振动方程为  $y=3 \times 10^{-2} \cos 4\pi t$  (SI).

- (1) 以  $A$  点为坐标原点写出波的表达式;  
 (2) 以距  $A$  点 2.5 m 处的  $B$  点为坐标原点, 写出波的表达式.



3 用每毫米 300 条刻痕的衍射光栅来检验仅含有属于红和蓝的两种单色成分的光谱. 已知红谱线波长  $\lambda_{\text{R}}$  在  $0.63-0.76 \mu\text{m}$  范围内, 蓝谱线波长  $\lambda_{\text{B}}$  在  $0.43-0.49 \mu\text{m}$  范围内. 当光垂直入射到光栅时, 发现在衍射角为  $24.46^\circ$  处, 红蓝两谱线同时出现. 在什么角度下红蓝两谱线还会同时出现?

4. 用波长  $\lambda_0=1 \text{ \AA}$  的光子做康普顿实验.

- (1) 散射角  $\phi=90^\circ$  的康普顿散射波长是多少?  
 (2) 反冲电子获得的动能有多大?

(普朗克常量  $h=6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ , 电子静止质量  $m_e=9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$ )

## 参考答案

一、选择题:

1.(C) 2.(B) 3.(B) 4.(B) 5.(C) 6.(B) 7.(B) 8.(A) 9.(D) 10.(D)

二、填空题:

1.  $1:1:1$

2.  $8.31 \text{ J}$   $29.09 \text{ J}$

3.  $10$   $-\frac{1}{2}\pi$

4.  $y = A \cos\{\omega[t + (1+x)/u] + \phi\}$  (SI)

5.  $D\lambda/(dn)$

6. 6 第一级明(只填“明”也可以)

7.  $6250 \text{ \AA}$  (或  $625 \text{ nm}$ )

8.  $1.45 \text{ \AA}$   $6.63 \times 10^{-19} \text{ \AA}$

9.  $0, \sqrt{2}\hbar, \sqrt{6}\hbar$

10. (2)、(3)、(4)、(5) (4) 有无不扣分、加分。

三、计算题

1. (1) 由等温线  $pV = C$  得  $(\frac{dp}{dV})_T = -\frac{p}{V}$

由绝热线  $pV^\gamma = C$  得  $(\frac{dp}{dV})_Q = -\gamma \frac{p}{V}$

由题意知  $\frac{(dp/dV)_T}{(dp/dV)_Q} = \frac{-p/V}{-\gamma p/V} = \frac{1}{\gamma} = 0.714$

故  $\gamma = 1/0.714 = 1.4$

由绝热方程  $p_1 V_1^\gamma = p_2 V_2^\gamma$

可得  $p_2 = p_1 (\frac{V_1}{V_2})^\gamma = 7.58 \times 10^4 \text{ Pa}$

(2)  $W = \int_{V_1}^{V_2} p dV = \int_{V_1}^{V_2} p_1 (\frac{V_1}{V})^\gamma dV = \frac{p_1 V_1 - p_2 V_2}{\gamma - 1} = 60.5 \text{ J}$

2. (1) 坐标为  $x$  点的振动相位为

$$\omega t + \phi = 4\pi[t + (x/u)] = 4\pi[t + (x/20)] = 4\pi[t + (x/20)]$$

波的表达式为  $y = 3 \times 10^{-2} \cos 4\pi[t + (x/20)] \text{ (SI)}$

(2) 以  $B$  点为坐标原点, 则坐标为  $x$  点的振动相位为

$$\omega t + \phi' = 4\pi[t + \frac{x-5}{20}] \text{ (SI)}$$

波的表达式为  $y = 3 \times 10^{-2} \cos[4\pi(t + \frac{x}{20}) - \pi] \text{ (SI)}$

3.  $\therefore a+b = (1/300) \text{ mm} = 3.33 \mu\text{m}$

$$(a+b) \sin \psi = k\lambda$$

$\therefore k\lambda = (a+b) \sin 24.46^\circ = 1.38 \mu\text{m}$

$\therefore \lambda_R = 0.63 \sim 0.76 \mu\text{m}; \lambda_B = 0.43 \sim 0.49 \mu\text{m}$

对于红光, 取  $k=2$ , 则  $\lambda_R = 0.69 \mu\text{m}$

对于蓝光, 取  $k=3$ , 则  $\lambda_B = 0.46 \mu\text{m}$

红光最大级次  $k_{\max} = (a+b) / \lambda_R = 4.8$ ,

取  $k_{\max}=4$  则红光的第 4 级与蓝光的第 6 级还会重合. 设重合处的衍射角为  $\psi'$ , 则

$$\sin \psi' = 4\lambda_R / (a+b) = 0.828$$

$\therefore \psi' = 55.9^\circ$

4. (1) 康普顿散射光子波长改变:

$$\Delta\lambda = (hm_e c)(1 - \cos \phi) = 0.024 \times 10^{-10} \text{ m}$$

$$\lambda = \lambda_0 + \Delta\lambda = 1.024 \times 10^{-10} \text{ m}$$

(2) 设反冲电子获得动能  $E_K = (m - m_e)c^2$ , 根据能量守恒:

$$h\nu_0 = h\nu + (m - m_e)c^2 = h\nu + E_K$$

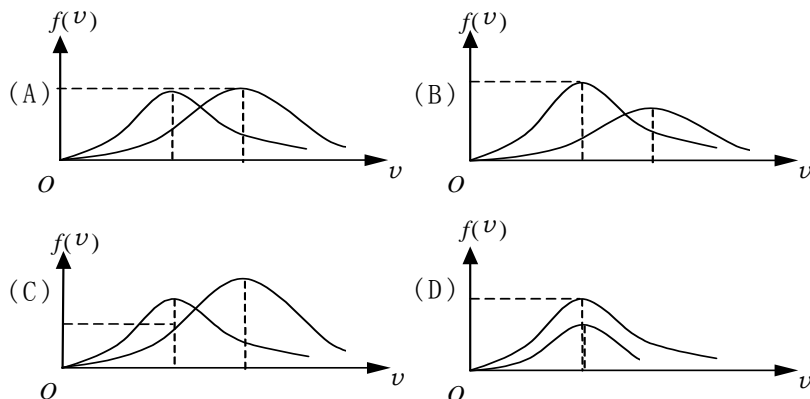
即  $hc / \lambda_0 = [hc / (\lambda_0 + \Delta\lambda)] + E_K$

故  $E_K = hc\Delta\lambda / [\lambda_0(\lambda_0 + \Delta\lambda)] = 4.66 \times 10^{-17} \text{ J} = 291 \text{ eV}$

一. 选择题

1. 下列各图所示的速率分布曲线, 哪一图中的两条曲线能是同一温度下氮气和氢气的分子速率分布曲线?

[       ]



2. 对于室温下的

双原子分子理想气体, 在等压膨胀的情况下, 系统对外所作的功与从外界吸收的热量之比  $W/Q$  等于

- (A)  $2/3$ .                      (B)  $1/2$ .  
(C)  $2/5$ .                      (D)  $2/7$ .

[       ]

3. 一定量的理想气体向真空作绝热自由膨胀, 体积由  $V_1$  增至  $V_2$ , 在此过程中气体的

- (A) 内能不变, 熵增加.                      (B) 内能不变, 熵减少.  
(C) 内能不变, 熵不变.                      (D) 内能增加, 熵增加.

[       ]

4. 在双缝干涉实验中, 设缝是水平的. 若双缝所在的平板稍微向上平移, 其它条件不变, 则屏上的干涉条纹

- (A) 向下平移, 且间距不变.                      (B) 向上平移, 且间距不变.  
(C) 不移动, 但间距改变.                      (D) 向上平移, 且间距改变.

[       ]

5. 使一光强为  $I_0$  的平面偏振光先后通过两个偏振片  $P_1$  和  $P_2$ .  $P_1$  和  $P_2$  的偏振化方向与原入射光光矢量振动方向的夹角分别是  $\alpha$  和  $90^\circ$ , 则通过这两个偏振片后的光强  $I$  是

- (A)  $\frac{1}{2} I_0 \cos^2 \alpha$ .                      (B) 0.  
(C)  $\frac{1}{4} I_0 \sin^2(2\alpha)$ .                      (D)  $\frac{1}{4} I_0 \sin^2 \alpha$ .  
(E)  $I_0 \cos^4 \alpha$ .

[       ]

6. 某种透明媒质对于空气的临界角(指全反射)等于  $45^\circ$ , 光从空气射向此媒质时的布儒斯特角是

- (A)  $35.3^\circ$                       (B)  $40.9^\circ$   
(C)  $45^\circ$                       (D)  $54.7^\circ$   
(E)  $57.3^\circ$

[       ]

7. 宇宙飞船相对于地面以速度  $v$  作匀速直线飞行, 某一时刻飞船头部的宇航员向飞船尾部发出一个光讯号, 经过  $\Delta t$  (飞船上的钟) 时间后, 被尾部的接收器收到, 则由此可知飞船的固有长度为 ( $c$  表示真空中光速)

- (A)  $c \cdot \Delta t$                       (B)  $v \cdot \Delta t$

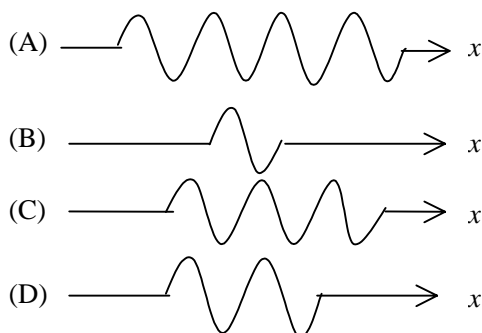
$$(C) \frac{c \cdot \Delta t}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}$$

$$(D) c \cdot \Delta t \cdot \sqrt{1 - (v/c)^2}$$

[       ]

8. 设粒子运动的波函数图线分别如图(A)、(B)、(C)、(D)所示, 那么其中确定粒子动量的精确度最高的波函数是哪个图?

[       ]



9. 如果(1)锗用铈(五价元素)掺杂, (2)硅用铝(三价元素)掺杂, 则分别获得的半导体属于下述类型:

- (A) (1), (2)均为 n 型半导体.  
 (B) (1)为 n 型半导体, (2)为 p 型半导体.  
 (C) (1)为 p 型半导体, (2)为 n 型半导体.  
 (D) (1), (2)均为 p 型半导体.

[       ]

10. 激光全息照相技术主要是利用激光的哪一种优良特性?

- (A) 亮度高.                      (B) 方向性好.  
 (C) 相干性好.                  (D) 抗电磁干扰能力强.

[       ]

## 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能为\_\_\_\_\_, 氢分子的平均动能为\_\_\_\_\_, 该瓶氢气的内能为\_\_\_\_\_.

2. 右图为一理想气体几种状态变化过程的  $p-V$  图, 其中  $MT$  为等温线,  $MQ$  为绝热线, 在  $AM$ 、 $BM$ 、 $CM$  三种准静态过程中:

- (1) 温度升高的是\_\_\_\_\_过程;  
 (2) 气体吸热的是\_\_\_\_\_过程.

3. 用  $\lambda=600 \text{ nm}$  的单色光垂直照射牛顿环装置时, 从中央向外数第 4 个(不计中央暗斑)暗环

对应的空气膜厚度为 \_\_\_\_\_  $\mu\text{m}$ . ( $1 \text{ nm}=10^{-9} \text{ m}$ )

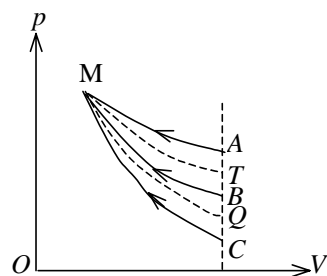
4. 在单缝的夫琅禾费衍射实验中, 屏上第三级暗纹对应于单缝处波面可划分\_\_\_\_\_个半波带, 若将缝宽缩小一半, 原来第三级暗纹处将是\_\_\_\_\_纹.

5. 用波长为  $\lambda$  的单色平行红光垂直照射在光栅常数  $d=2 \mu\text{m}$  ( $1 \mu\text{m}=10^{-6} \text{ m}$ ) 的光栅上, 用焦距  $f=0.500 \text{ m}$  的透镜将光聚在屏上, 测得第一级谱线与透镜主焦点的距离  $l=0.1667 \text{ m}$ . 则可知该入射的红光波长  $\lambda=_____ \text{ nm}$ .

( $1 \text{ nm}=10^{-9} \text{ m}$ )

6. 在光学各向异性晶体内部有一确定的方向, 沿这一方向寻常光和非常光的\_\_\_\_\_相等, 这一方向称为晶体的光轴. 只具有一个光轴方向的晶体称为\_\_\_\_\_晶体.

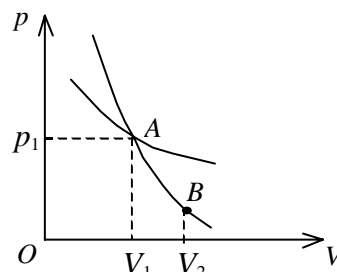
7. 一观察者测得一沿米尺长度方向匀速运动着的米尺的长度为  $0.5 \text{ m}$ . 则此米尺以速度  $v=_____ \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  接近观察者.



8.  $\alpha$  粒子在加速器中被加速, 当其质量为静止质量的 5 倍时, 其动能为静止能量的\_\_\_\_倍.  
 9. 玻尔氢原子理论中, 电子轨道角动量最小值为\_\_\_\_; 而量子力学理论中, 电子轨道角动量最小值为\_\_\_\_. 实验证明\_\_\_\_理论的结果是正确的.  
 10. 根据泡利不相容原理, 在主量子数  $n=4$  的电子壳层上最多可能的电子数为\_\_\_\_个.

### 三. 计算题

1. 某理想气体在  $p-V$  图上等温线与绝热线相交于 A 点, 如图. 已知 A 点的压强  $p_1=2 \times 10^5 \text{ Pa}$ , 体积  $V_1=0.5 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ , 而且 A 点处等温线斜率与绝热线斜率之比为 0.714. 现使气体从 A 点绝热膨胀至 B 点, 其体积  $V_2=1 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ , 求



- (1) B 点处的压强;  
 (2) 在此过程中气体对外作的功.

2. 用每毫米 300 条刻痕的衍射光栅来检验仅含有属于红和蓝的两种单色成分的光谱. 已知红谱线波长  $\lambda_R$  在  $0.63-0.76 \mu\text{m}$  范围内, 蓝谱线波长  $\lambda_B$  在  $0.43-0.49 \mu\text{m}$  范围内. 当光垂直入射到光栅时, 发现在衍射角为  $24.46^\circ$  处, 红蓝两谱线同时出现. 在什么角度下红蓝两谱线还会同时出现?  
 3. 用波长  $\lambda_0=1 \text{ \AA}$  的光子做康普顿实验.

- (1) 散射角  $\phi=90^\circ$  的康普顿散射波长是多少?  
 (2) 反冲电子获得的动能有多大?

(普朗克常量  $h=6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ , 电子静止质量  $m_e=9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$ )

4. 求出实物粒子德布罗意波长与粒子动能  $E_K$  和静止质量  $m_0$  的关系, 并得出:

$$E_K \ll m_0 c^2 \text{ 时, } \lambda \approx h / \sqrt{2m_0 E_K};$$

$$E_K \gg m_0 c^2 \text{ 时, } \lambda \approx hc / E_K.$$

## 参考答案

### 一. 选择题

- 1.[B] 2.[D] 3.[A] 4.[B] 5.[C] 6.[D] 7.[A] 8.[A] 9.[B] 10.[C]

### 二. 填空题

1.  $\frac{3}{2} kT$        $\frac{5}{2} kT$        $\frac{5}{2} MRT/M_{\text{mol}}$       2. BM、CM      CM  
 3. 1.2      4. 6      第一级明(只填“明”也可以)  
 5. 632.6 或 633      6. 传播速度      单轴      7.  $2.60 \times 10^8$

8. 4      9.  $h/(2\pi)$ ; 0; 量子力学      10. 32

### 三. 计算题

1. 解: (1) 由等温线  $pV=C$  得  $(\frac{dp}{dV})_T = -\frac{p}{V}$

由绝热线  $pV^\gamma = C$  得  $(\frac{dp}{dV})_Q = -\gamma \frac{p}{V}$

由题意知  $\frac{(dp/dV)_T}{(dp/dV)_Q} = \frac{-p/V}{-\gamma p/V} = \frac{1}{\gamma} = 0.714$

故  $\gamma = 1/0.714 = 1.4$

由绝热方程

$$p_1 V_1^\gamma = p_2 V_2^\gamma$$

可得

$$p_2 = p_1 \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^\gamma = 7.58 \times 10^4 \text{ Pa}$$

$$(2) \quad W = \int_{V_1}^{V_2} p dV = \int_{V_1}^{V_2} p_1 \left( \frac{V_1}{V} \right)^\gamma dV = \frac{p_1 V_1 - p_2 V_2}{\gamma - 1} = 60.5 \text{ J}$$

2. 解:  $\therefore$

$$a+b = (1/300) \text{ mm} = 3.33 \mu\text{m}$$

$$(a+b) \sin \psi = k\lambda$$

$\therefore$

$$k\lambda = (a+b) \sin 24.46^\circ = 1.38 \mu\text{m}$$

$\therefore$

$$\lambda_R = 0.63 - 0.76 \mu\text{m}; \quad \lambda_B = 0.43 - 0.49 \mu\text{m}$$

对于红光, 取  $k=2$ , 则

$$\lambda_R = 0.69 \mu\text{m}$$

对于蓝光, 取  $k=3$ , 则

$$\lambda_B = 0.46 \mu\text{m}$$

红光最大级次

$$k_{\max} = (a+b) / \lambda_R = 4.8,$$

取  $k_{\max}=4$  则红光的第 4 级与蓝光的第 6 级还会重合. 设重合处的衍射角为  $\psi'$ , 则

$$\sin \psi' = 4\lambda_R / (a+b) = 0.828$$

$\therefore$

$$\psi' = 55.9^\circ$$

3. 解: (1) 康普顿散射光子波长改变:

$$\Delta\lambda = (hm_e c)(1 - \cos \phi) = 0.024 \times 10^{-10} \text{ m}$$

$$\lambda = \lambda_0 + \Delta\lambda = 1.024 \times 10^{-10} \text{ m}$$

(2) 设反冲电子获得动能  $E_K = (m - m_e)c^2$ , 根据能量守恒:

$$h\nu_0 = h\nu + (m - m_e)c^2 = h\nu + E_K$$

即

$$hc / \lambda_0 = [hc / (\lambda_0 + \Delta\lambda)] + E_K$$

故

$$E_K = hc\Delta\lambda / [\lambda_0(\lambda_0 + \Delta\lambda)] = 4.66 \times 10^{-17} \text{ J} = 291 \text{ eV}$$

4. 解: 由

$$E_K = mc^2 - m_0 c^2 = [m_0 c^2 / \sqrt{1 - (v/c)^2}] - m_0 c^2$$

解出:

$$m = (E_K + m_0 c^2) / c^2$$

$$v = c \sqrt{E_K^2 + 2E_K m_0 c^2} / (E_K + m_0 c^2)$$

根据德布罗意波:

$$\lambda = h / p = h / (mv)$$

把上面  $m$ ,  $v$  代入得:

$$\lambda = \frac{hc}{\sqrt{E_K^2 + 2E_K m_0 c^2}}$$

当  $E_K \ll m_0 c^2$  时, 上式分母中,  $E_K^2 \ll 2E_K m_0 c^2$ ,  $E_K^2$  可略去.

得

$$\lambda = hc / \sqrt{2E_K m_0 c^2} \approx h / \sqrt{2E_K m_0}$$

当  $E_K \gg m_0 c^2$  时, 上式分母中,  $E_K^2 \gg 2E_K m_0 c^2$ ,  $2E_K m_0 c^2$  可略去.

得

$$\lambda \approx hc / E_K$$





- (A)  $I_0/8$ . (B)  $I_0/4$ .  
(C)  $3I_0/8$ . (D)  $3I_0/4$ .

[ ]

7、K 系与 K' 系是坐标轴相互平行的两个惯性系，K' 系相对于 K 系沿  $Ox$  轴正方向匀速运动。一根刚性尺静止在 K' 系中，与  $O'x'$  轴成  $30^\circ$  角。今在 K 系中观测得该尺与  $Ox$  轴成  $45^\circ$  角，则 K' 系相对于 K 系的速度是：

- (A)  $(2/3)c$ . (B)  $(1/3)c$ .  
(C)  $(2/3)^{1/2}c$ . (D)  $(1/3)^{1/2}c$ .

[ ]

8、设某微观粒子的总能量是它的静止能量的  $K$  倍，则其运动速度的大小为(以  $c$  表示真空中的光速)

- (A)  $\frac{c}{K-1}$ . (B)  $\frac{c}{K}\sqrt{1-K^2}$ .  
(C)  $\frac{c}{K}\sqrt{K^2-1}$ . (D)  $\frac{c}{K+1}\sqrt{K(K+2)}$ .

[ ]

9、已知粒子在一维矩形无限深势阱中运动，其波函数为：

$$\psi(x) = \frac{1}{\sqrt{a}} \cdot \cos \frac{3\pi x}{2a}, \quad (-a \leq x \leq a)$$

那么粒子在  $x = 5a/6$  处出现的概率密度为

- (A)  $1/(2a)$ . (B)  $1/a$ .  
(C)  $1/\sqrt{2a}$ . (D)  $1/\sqrt{a}$ .

[ ]

10、按照原子的量子理论，原子可以通过自发辐射和受激辐射的方式发光，它们所产生的光的特点是：

- (A) 两个原子自发辐射的同频率的光是相干的，原子受激辐射的光与入射光是不相干的。  
(B) 两个原子自发辐射的同频率的光是不相干的，原子受激辐射的光与入射光是相干的。  
(C) 两个原子自发辐射的同频率的光是不相干的，原子受激辐射的光与入射光是不相干的。  
(D) 两个原子自发辐射的同频率的光是相干的，原子受激辐射的光与入射光是相干的。

[ ]

## 二、 填空题

1、 如果理想气体的体积按照  $pV^3 = C$  ( $C$  为正的常量) 的规律从  $V_1$  膨胀到  $V_2$ ，则它所作

的功  $A =$  \_\_\_\_\_；膨胀过程中气体的温度 \_\_\_\_\_  
(填升高、降低或不变)。

2、 一热机从温度为  $727^\circ\text{C}$  的高温热源吸热，向温度为  $527^\circ\text{C}$  的低温热源放热。若热机在最

大效率下工作，且每一循环吸热  $2000 \text{ J}$ ，则此热机每一循环做功\_\_\_\_\_  $\text{J}$ 。

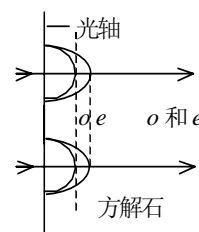
3、已知某理想气体的比热容比为  $\gamma$ ，若该气体分别经历等压过程和等体过程，温度由  $T_1$  升到  $T_2$ ，则前者的熵增加量为后者的\_\_\_\_\_倍。

4、在双缝干涉实验中，若使两缝之间的距离增大，则屏幕上干涉条纹间距\_\_\_\_\_；若使单色光波长减小，则干涉条纹间距\_\_\_\_\_。

5、某单色光垂直入射到一个每毫米有  $800$  条刻线的光栅上，如果第一级谱线的衍射角为  $30^\circ$ ，则入射光的波长应为\_\_\_\_\_。

6、当一束自然光在两种介质分界面处发生反射和折射时，若反射光为线偏振光，则折射光为\_\_\_\_\_偏振光，且反射光线和折射光线之间的夹角为\_\_\_\_\_。

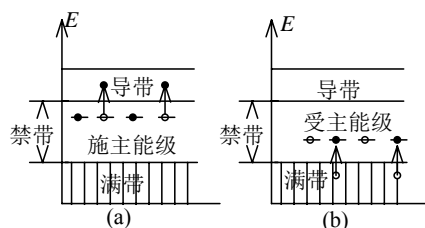
7、一束线偏振的平行光，在真空中波长为  $589 \text{ nm}$  ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ )，垂直入射到方解石晶体上，晶体的光轴和表面平行，如图所示。已知方解石晶体对此单色光的折射率为  $n_o = 1.658$ ， $n_e = 1.486$ 。这晶体中的寻常光的波长  $\lambda_o =$ \_\_\_\_\_，非寻常光的波长  $\lambda_e =$ \_\_\_\_\_。



8、已知惯性系  $S'$  相对于惯性系  $S$  系以  $0.5c$  的匀速度沿  $x$  轴的负方向运动，若从  $S'$  系的坐标原点  $O'$  沿  $x$  轴正方向发出一光波，则  $S$  系中测得此光波在真空中的波速为\_\_\_\_\_。

9、玻尔氢原子理论中的定态假设的内容是：\_\_\_\_\_。

10、下方两图(a)与(b)中，(a)图是\_\_\_\_\_型半导体的能带结构图，(b)图是\_\_\_\_\_型半导体的能带结构图。



### 三、 计算题

1、一定量的某种理想气体，开始时处于压强、体积、温度分别为  $p_0 = 1.2 \times 10^6 \text{ Pa}$ ， $V_0 = 8.31 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ ， $T_0 = 300 \text{ K}$  的初态，后经过一等体过程，温度升高到  $T_1 = 450 \text{ K}$ ，再经过一等温过程，压强降到  $p = p_0$  的末态。已知该理想气体的等压摩尔热容与等体摩尔热容之比  $C_p / C_v = 5/3$ 。求：

(1) 该理想气体的等压摩尔热容  $C_p$  和等体摩尔热容  $C_v$ 。

(2) 气体从始态变到末态的全过程中从外界吸收的热量。(普适气体常量  $R = 8.31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )

2、设有宇宙飞船  $A$  和  $B$ ，固有长度均为  $l_0 = 100 \text{ m}$ ，沿同一方向匀速飞行，在飞船  $B$  上观测到飞船  $A$  的船头、船尾经过飞船  $B$  船头的的时间间隔为  $\Delta t = (5/3) \times 10^{-7} \text{ s}$ ，求飞船  $B$  相对于飞船  $A$  的速度的大小。

3、波长  $\lambda = 600 \text{ nm}$  ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ) 的单色光垂直入射到一光栅上，测得第二级主极大的衍射角为  $30^\circ$ ，且第三级是缺级。

(1) 光栅常数  $(a + b)$  等于多少？

(2) 透光缝可能的最小宽度  $a$  等于多少？

(3) 在选定了上述  $(a + b)$  和  $a$  之后，求在衍射角  $-\frac{1}{2}\pi < \varphi < \frac{1}{2}\pi$  范围内可能观察到的全部主极大的级次。

4、若光子的波长和电子的德布罗意波长  $\lambda$  相等，试求光子的质量与电子的质量之比。

## 参考答案

### 一 选择题

1. C; 2. D; 3. C; 4. A; 5. A; 6. A; 7. C; 8. C; 9. A; 10. B

### 二. 填空题

1.  $\frac{C}{2} \left( \frac{1}{V_1^2} - \frac{1}{V_2^2} \right)$ ，降低

2. 400

3.  $\gamma$

4. 变小 变小

5.  $6250 \text{ \AA}$  (或  $625 \text{ nm}$ )

6. 部分  $\pi/2$  (或  $90^\circ$ )

7.  $355 \text{ nm}$   $396 \text{ nm}$

8. c

9. 原子只能处在一系列能量不连续的稳定状态(定态)中，处于定态中的原子，其电子只能在一定轨道上绕核作圆周运动，但不发射电磁波。

10. n p

### 三. 计算题

1. 解: (1) 由  $\frac{C_p}{C_v} = \frac{5}{3}$

和  $C_p - C_v = R$

可解得  $C_p = \frac{5}{2}R$  和  $C_v = \frac{3}{2}R$

(2) 该理想气体的摩尔数  $\nu = \frac{p_0 V_0}{RT_0} = 4 \text{ mol}$

在全过程中气体内能的改变量为  $\Delta E = \nu C_V (T_1 - T_2) = 7.48 \times 10^3 \text{ J}$

全过程中气体对外作的功为  $W = \nu RT_1 \ln \frac{p_1}{p_0}$

式中  $p_1 / p_0 = T_1 / T_0$

则  $W = \nu RT_1 \ln \frac{T_1}{T_0} = 6.06 \times 10^3 \text{ J}$

全过程中气体从外界吸的热量为  $Q = \Delta E + W = 1.35 \times 10^4 \text{ J}$

2. 解: 设飞船 A 相对于飞船 B 的速度大小为  $v$ , 这也就是飞船 B 相对于飞船 A 的速度大小. 在飞船 B 上测得飞船 A 的长度为

$$l = l_0 \sqrt{1 - (v/c)^2}$$

故在飞船 B 上测得飞船 A 相对于飞船 B 的速度为

$$v = l / \Delta t = (l_0 / \Delta t) \sqrt{1 - (v/c)^2}$$

解得  $v = \frac{l_0 / \Delta t}{\sqrt{1 + (l_0 / c \Delta t)^2}} = 2.68 \times 10^8 \text{ m/s}$

所以飞船 B 相对于飞船 A 的速度大小也为  $2.68 \times 10^8 \text{ m/s}$ .

3. 解: (1) 由光栅衍射主极大公式得

$$a + b = \frac{k\lambda}{\sin \varphi} = 2.4 \times 10^{-4} \text{ cm}$$

(2) 若第三级不缺级, 则由光栅公式得

$$(a + b) \sin \varphi' = 3\lambda$$

由于第三级缺级, 则对应于最小可能的  $a$ ,  $\varphi'$  方向应是单缝衍射第一级暗纹: 两式比较, 得

$$a \sin \varphi' = \lambda$$

$$a = (a + b) / 3 = 0.8 \times 10^{-4} \text{ cm}$$

(3)  $(a + b) \sin \varphi = k\lambda$ , (主极大)

$$a \sin \varphi = k'\lambda, \text{ (单缝衍射极小)} \quad (k' = 1, 2, 3, \dots)$$

因此  $k=3, 6, 9, \dots$  缺级.

又因为  $k_{\max} = (a + b) / \lambda = 4$ , 所以实际呈现  $k=0, \pm 1, \pm 2$  级明纹. ( $k=\pm 4$  在  $\pi/2$  处看不到.)

4. 解: 光子动量:  $p_r = m_r c = h / \lambda$  ①

电子动量:  $p_e = m_e v = h / \lambda$  ②

两者波长相等, 有  $m_r c = m_e v$   
得到  $m_r / m_e = v / c$  ③

电子质量  $m_e = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}}$  ④

式中  $m_0$  为电子的静止质量. 由②、④两式解出

$$v = \frac{c}{\sqrt{1 + (m_0^2 \lambda^2 c^2 / h^2)}}$$

代入③式得  $\frac{m_r}{m_e} = \frac{1}{\sqrt{1 + (m_0^2 \lambda^2 c^2 / h^2)}}$



### 一、 选择题

1、一定量的理想气体贮于某一容器中，温度为  $T$ ，气体分子的质量为  $m$ 。根据理想气体分子模型和统计假设，分子速度在  $x$  方向的分量的平均值

(A)  $\overline{v_x} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}$  .                      (B)  $\overline{v_x} = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}$  .

(C)  $\overline{v_x} = \sqrt{\frac{8kT}{3\pi m}}$  .                      (D)  $\overline{v_x} = 0$  .

[           ]

2、玻尔兹曼分布律表明：在某一温度的平衡态，

(1) 分布在某一区间(坐标区间和速度区间)的分子数，与该区间粒子的能量成正比。

(2) 在同样大小的各区间(坐标区间和速度区间)中，能量较大的分子数较少；能量较小的分子数较多。

(3) 在大小相等的各区间(坐标区间和速度区间)中比较，分子总是处于低能态的概率大些。

(4) 分布在某一坐标区间内、具有各种速度的分子总数只与坐标区间的间隔成正比，与粒子能量无关。

以上四种说法中，

(A) 只有(1)、(2)是正确的。

(B) 只有(2)、(3)是正确的。

(C) 只有(1)、(2)、(3)是正确的。

(D) 全部是正确的。

[           ]

3、设  $dQ$  表示一个微元过程中系统吸的热， $T$  表示系统的温度， $\int_1^2 \frac{dQ}{T}$  为系统从状态 1 变化到状态 2 的过程中的积分，则热力学系统的任意两个平衡状态 1 和 2 的熵差  $S_2 - S_1$

(A) 与系统状态变化的具体过程有关，由该过程中的积分  $\int_1^2 \frac{dQ}{T}$  决定。

(B) 可用任意过程中的积分  $\int_1^2 \frac{dQ}{T}$  表示。

(C) 可用任意可逆过程中的积分  $\int_1^2 \frac{dQ}{T}$  表示。

(D) 可用任意不可逆过程中的积分  $\int_1^2 \frac{dQ}{T}$  表示。

[           ]

4、在相同的时间内，一束波长为 $\lambda$ 的单色光在空气中和在玻璃中

- (A) 传播的路程相等，走过的光程相等.
- (B) 传播的路程相等，走过的光程不相等.
- (C) 传播的路程不相等，走过的光程相等.
- (D) 传播的路程不相等，走过的光程不相等.

[       ]

5、在单缝夫琅禾费衍射实验中，若减小缝宽，其他条件不变，则中央明条纹

- (A) 宽度变小；
- (B) 宽度变大；
- (C) 宽度不变，且中心强度也不变；
- (D) 宽度不变，但中心强度变小.

[       ]

6、一束光强为 $I_0$ 的自然光，相继通过三个偏振片 $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$ 后，出射光的光强为 $I=I_0/8$ . 已知 $P_1$ 和 $P_2$ 的偏振化方向相互垂直，若以入射光线为轴，旋转 $P_2$ ，要使出射光的光强为零， $P_2$ 最少要转过的角度是

- (A)  $30^\circ$  .                      (B)  $45^\circ$  .
- (C)  $60^\circ$  .                      (D)  $90^\circ$  .

[       ]

7、两个惯性系 $S$ 和 $S'$ ，沿 $x(x')$ 轴方向作匀速相对运动. 设在 $S'$ 系中某点先后发生两个事件，用静止于该系的钟测出两事件的时间间隔为 $\tau_0$ ，而用固定在 $S$ 系的钟测出这两个事件的时间间隔为 $\tau$ . 又在 $S'$ 系 $x'$ 轴上放置一静止于是该系. 长度为 $l_0$ 的细杆，从 $S$ 系测得此杆的长度为 $l$ , 则

- (A)  $\tau < \tau_0$ ;  $l < l_0$ .                      (B)  $\tau < \tau_0$ ;  $l > l_0$ .
- (C)  $\tau > \tau_0$ ;  $l > l_0$ .                      (D)  $\tau > \tau_0$ ;  $l < l_0$ .

[       ]

8、根据相对论力学，动能为 0.25 MeV 的电子，其运动速度约等于

- (A)  $0.1 c$                                       (B)  $0.5 c$
  - (C)  $0.75 c$                                       (D)  $0.85 c$
- ( $c$  表示真空中的光速，电子的静能  $m_0 c^2 = 0.51 \text{ MeV}$ )

[       ]

9、将波函数在空间各点的振幅同时增大 $D$ 倍，则粒子在空间的分布概率将



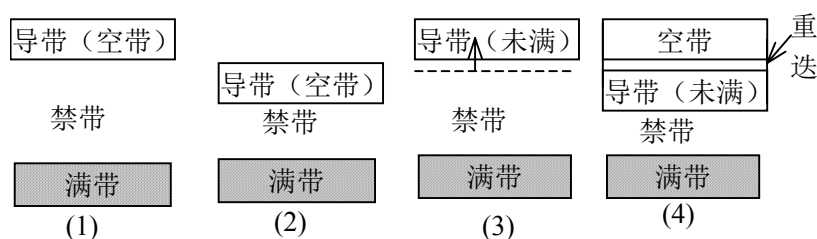
- (A) 增大  $D^2$  倍. (B) 增大  $2D$  倍.  
(C) 增大  $D$  倍. (D) 不变.

[ ]

10、附图是导体、半导体、绝缘体在热力学温度  $T=0\text{ K}$  时的能带结构图. 其中属于绝缘体的能带结构是

- (A) (1). (B) (2).  
(C) (1), (3). (D) (3).  
(E) (4).

[ ]



## 二、 填空题 (每题 3 分, 共 30 分)

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\_\_\_\_\_.

2、一个作可逆卡诺循环的热机, 其效率为  $\eta$ , 它逆向运转时便成为一台致冷机,

该致冷机的致冷系数  $w = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$ , 则  $\eta$  与  $w$  的关系为\_\_\_\_\_.

3、在一个孤立系统内, 一切实际过程都向着\_\_\_\_\_的方向进行. 这就是热力学第

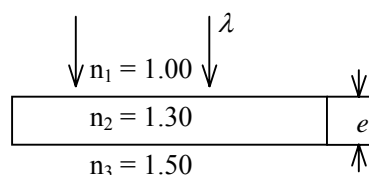
二定律的统计意义. 从宏观上说, 一切与热现象有关的实际的过程都是

\_\_\_\_\_.

4、波长为  $\lambda$  的单色光垂直照射如图所示的透明薄膜. 膜厚

度为  $e$ , 两束反射光的光程差  $\delta =$

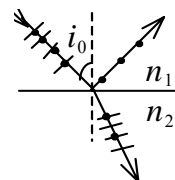
\_\_\_\_\_.



5、波长为  $500\text{ nm}$  ( $1\text{ nm}=10^{-9}\text{ m}$ ) 的单色光垂直入射到光栅常数为  $1.0\times 10^{-4}\text{ cm}$  的平面衍射光

栅上，第一级衍射主极大所对应的衍射角  $\varphi=$ \_\_\_\_\_.

6、附图表示一束自然光入射到两种媒质交界平面上产生反射光和折射



光。按图中所示的各光的偏振状态，反射光是\_\_\_\_\_光；  
折射光是

\_\_\_\_\_光；这时的入射角  $i_0$  称为\_\_\_\_\_角。

7、在双折射晶体内部，有某种特定方向称为晶体的光轴。光在晶体内沿光轴传播时，

\_\_\_\_\_光和\_\_\_\_\_光的传播速度相等。

8、以速度  $v$  相对于地球作匀速直线运动的恒星所发射的光子，其相对于地球的速度大小

为\_\_\_\_\_。

9、玻尔氢原子理论的基本假设之一是定态跃迁的频率条件，其内容表述如下：

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_。

10、按照原子的量子理论，原子可以通过\_\_\_\_\_两种辐射方式发光，

而激光是由\_\_\_\_\_方式产生的。

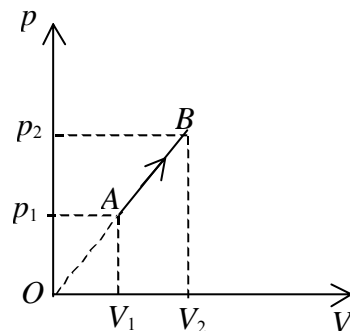
### 三、 计算题（每题 10 分，共 40 分）

1、 1 mol 双原子分子理想气体从状态  $A(p_1, V_1)$  沿  $p-V$  图所示直线变化到状态  $B(p_2, V_2)$ ，试求：

- (1) 气体的内能增量． 气体对外界所作的功．
- (2) 气体吸收的热量．
- (3) 此过程的摩尔热容．

(摩尔热容  $C = \Delta Q / \Delta T$ ，其中  $\Delta Q$  表示 1 mol 物质

在过程中升高温度  $\Delta T$  时所吸收的热量．)



2、在惯性系  $S$  中，有两事件发生于同一地点，且第二事件比第一事件晚发生  $\Delta t = 2s$ ；而在另一惯性系  $S'$  中，观测第二事件比第一事件晚发生  $\Delta t' = 3s$ ．那么在  $S'$  系中发生两事件的地点之间的距离是多少？

3、一束平行光垂直入射到某个光栅上，该光束有两种波长的光， $\lambda_1 = 440 \text{ nm}$ ， $\lambda_2 = 660 \text{ nm}$  ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ )．实验发现，两种波长的谱线(不计中央明纹)第二次重合于衍射角  $\varphi = 60^\circ$  的方向上．求此光栅的光栅常数  $d$ ．

4、质量为  $m_e$  的电子被电势差  $U_{12} = 100 \text{ kV}$  的电场加速，如果考虑相对论效应，试计算其德布罗意波的波长．若不用相对论计算，则相对误差是多少？  
(电子静止质量  $m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$ ，普朗克常量  $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J s}$ ，基本电荷  $e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$ )

### 参考答案

#### 一 选择题

1.D; 2.B; 3.C; 4.C; 5.B; 6.B; 7.D; 8.C; 9.D; 10.A

#### 二. 填空题

1.  $\frac{3}{2} kT$        $\frac{5}{2} kT$        $\frac{5}{2} MRT/M_{\text{mol}}$

2.  $\eta = \frac{1}{w+1}$  或  $w = \frac{1}{\eta} - 1$

3. 状态几率增大    ; 不可逆的

4.  $2.60 e$

5.  $30^\circ$  ?

6. 线偏振 (或完全偏振, 平面偏振)

部分偏振

布儒斯特

7. 寻常非常 或: 非常寻常

8. c

9. 原子中电子从能量为  $E_n$  的定态跃迁到能量为  $E_k$  的定态时, 便发射(当  $E_n > E_k$

时)或吸收(当  $E_n < E_k$  时=单色光, 其频率  $\nu$  由下式决定:  $\nu = \left| \frac{E_n - E_k}{h} \right|$  ( $h$  为普朗

克常量)

10. 自发辐射和受激辐射

受激辐射

三. 计算题

1. 解: 1. 解: (1)  $\Delta E = C_V(T_2 - T_1) = \frac{5}{2}(p_2 V_2 - p_1 V_1)$

$$(2) \quad W = \frac{1}{2}(p_1 + p_2)(V_2 - V_1),$$

$W$  为梯形面积, 根据相似三角形有  $p_1 V_2 = p_2 V_1$ , 则

$$W = \frac{1}{2}(p_2 V_2 - p_1 V_1).$$

$$(3) \quad Q = \Delta E + W = 3(p_2 V_2 - p_1 V_1).$$

(4) 以上计算对于  $A \rightarrow B$  过程中任一微小状态变化均成立, 故过程中

$$\Delta Q = 3 \Delta(pV).$$

由状态方程得

$$\Delta(pV) = R \Delta T,$$

故

$$\Delta Q = 3R \Delta T,$$

摩尔热容

$$C = \Delta Q / \Delta T = 3R.$$

2. 解: 2. 解: 令  $S'$  系与  $S$  系的相对速度为  $v$ , 有

$$\Delta t' = \frac{\Delta t}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}, \quad (\Delta t / \Delta t')^2 = 1 - (v/c)^2$$

则  $v = c \cdot (1 - (\Delta t / \Delta t')^2)^{1/2} \quad (= 2.24 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1})$

那么, 在  $S'$  系中测得两事件之间距离为:

$$\Delta x' = v \cdot \Delta t' = c(\Delta t'^2 - \Delta t^2)^{1/2} = 6.72 \times 10^8 \text{ m}$$

3. 解: 解: 由光栅衍射主极大公式得

$$d \sin \varphi_1 = k_1 \lambda_1$$

$$d \sin \varphi_2 = k_2 \lambda_2$$

$$\frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_2} = \frac{k_1 \lambda_1}{k_2 \lambda_2} = \frac{k_1 \times 440}{k_2 \times 660} = \frac{2k_1}{3k_2}$$

当两谱线重合时有  $\varphi_1 = \varphi_2$

$$\text{即} \quad \frac{k_1}{k_2} = \frac{3}{2} = \frac{6}{4} = \frac{9}{6} \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot$$

两谱线第二次重合即是

$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{6}{4}, \quad k_1=6, \quad k_2=4$$

由光栅公式可知  $d \sin 60^\circ = 6\lambda_1$

$$d = \frac{6\lambda_1}{\sin 60^\circ} = 3.05 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

4. 解：用相对论计算

由  $p = m\mathbf{v} = m_0\mathbf{v} / \sqrt{1 - (\mathbf{v}/c)^2}$  ①

$$eU_{12} = [m_0c^2 / \sqrt{1 - (\mathbf{v}/c)^2}] - m_0c^2$$
 ②

$$\lambda = h/p$$
 ③

计算得  $\lambda = \frac{hc}{\sqrt{eU_{12}(eU_{12} + 2m_0c^2)}} = 3.71 \times 10^{-12}$

若不考虑相对论效应

则  $p = m_0\mathbf{v}$  ④

$$eU_{12} = \frac{1}{2}m_0\mathbf{v}^2$$
 ⑤

由③，④，⑤式计算得

$$\lambda' = h/(2m_0eU_{12})^{1/2} = 3.88 \times 10^{-12} \text{ m}$$

相对误差  $\frac{|\lambda' - \lambda|}{\lambda} = 4.6\%$



一、 选择题（将正确答案的字母填在空格内，每小题 3 分，共 30 分）

1、在一密闭容器中，储有 A、B、C 三种理想气体，处于平衡状态．A 种气体的分子数密度为  $n_1$ ，它产生的压强为  $p_1$ ，B 种气体的分子数密度为  $2n_1$ ，C 种气体的分子数密度为  $3n_1$ ，则混合气体的压强  $p$  为

- (A)  $3p_1$ . (B)  $4p_1$ .  
(C)  $5p_1$ . (D)  $6p_1$ .

[       ]

2、一定量的某种理想气体起始温度为  $T$ ，体积为  $V$ ，该气体在下面循环过程中经过三个平衡过程：(1) 绝热膨胀到体积为  $2V$ ，(2) 等体变化使温度恢复为  $T$ ，(3) 等温压缩到原来体积  $V$ ，则此整个循环过程中

- (A) 气体向外界放热 (B) 气体对外界作正功  
(C) 气体内能增加 (D) 气体内能减少

[       ]

3、一绝热容器被隔板分成两半，一半是真空，另一半是理想气体．若把隔板抽出，气体将进行自由膨胀，达到平衡后

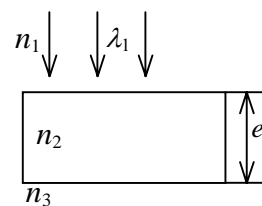
- (A) 温度不变，熵增加. (B) 温度升高，熵增加.  
(C) 温度降低，熵增加. (D) 温度不变，熵不变.

[       ]

4、如图所示，平行单色光垂直照射到薄膜上，经上下两表面反射的两束光发生干涉，若薄膜的厚度为  $e$ ，并且  $n_1 < n_2 > n_3$ ， $\lambda_1$  为入射光在折射率为  $n_1$  的媒质中的波长，则两束反射光在相遇点的相位差为

- (A)  $2\pi n_2 e / (n_1 \lambda_1)$ . (B)  $[4\pi n_1 e / (n_2 \lambda_1)] + \pi$ .  
(C)  $[4\pi n_2 e / (n_1 \lambda_1)] + \pi$ . (D)  $4\pi n_2 e / (n_1 \lambda_1)$ .

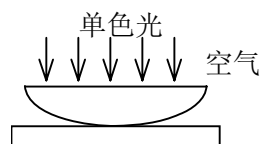
[       ]



5、如图，用单色光垂直照射在观察牛顿环的装置上．当平凸透镜垂直向上缓慢平移而远离平面玻璃时，可以观察到这些环状干涉条纹

- (A) 向右平移. (B) 向中心收缩.  
(C) 向外扩张. (D) 静止不动.  
(E) 向左平移.

[       ]



6、自然光以  $60^\circ$  的入射角照射到某两介质交界面时，反射光为完全线偏振光，则知折射光为

- (A) 完全线偏振光且折射角是  $30^\circ$  .  
 (B) 部分偏振光且只是在该光由真空入射到折射率为  $\sqrt{3}$  的介质时，折射角是  $30^\circ$  .  
 (C) 部分偏振光，但须知两种介质的折射率才能确定折射角.  
 (D) 部分偏振光且折射角是  $30^\circ$  .

[       ]

7、一宇航员要到离地球为 5 光年的星球去旅行．如果宇航员希望把这路程缩短为 3 光年，则他所乘的火箭相对于地球的速度应是：( $c$  表示真空中光速)

- (A)  $v = (1/2) c$ .        (B)  $v = (3/5) c$ .  
 (C)  $v = (4/5) c$ .        (D)  $v = (9/10) c$ .

[       ]

8、已知电子的静能为 0.51 MeV，若电子的动能为 0.25 MeV，则它所增加的质量  $\Delta m$  与静止质量  $m_0$  的比值近似为

- (A) 0.1 .        (B) 0.2 .        (C) 0.5 .        (D) 0.9 .

[       ]

9、光电效应和康普顿效应都包含有电子与光子的相互作用过程．对此，在以下几种理解中，正确的是

- (A) 两种效应中电子与光子两者组成的系统都服从动量守恒定律和能量守恒定律.  
 (B) 两种效应都相当于电子与光子的弹性碰撞过程.  
 (C) 两种效应都属于电子吸收光子的过程.  
 (D) 光电效应是吸收光子的过程，而康普顿效应则相当于光子和电子的弹性碰撞过程.  
 (E) 康普顿效应是吸收光子的过程，而光电效应则相当于光子和电子的弹性碰撞过程.

[       ]

10、在原子的 K 壳层中，电子可能具有的四个量子数( $n, l, m_l, m_s$ )是

- (1)  $(1, 1, 0, \frac{1}{2})$ .        (2)  $(1, 0, 0, \frac{1}{2})$ .  
 (3)  $(2, 1, 0, -\frac{1}{2})$ .        (4)  $(1, 0, 0, -\frac{1}{2})$ .

以上四种取值中，哪些是正确的？

- (A) 只有(1)、(3)是正确的.  
 (B) 只有(2)、(4)是正确的.  
 (C) 只有(2)、(3)、(4)是正确的.  
 (D) 全部是正确的.

[       ]

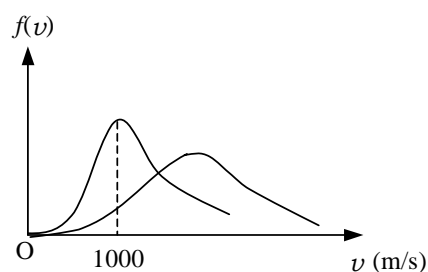


## 二、 填空题（每空 3 分，共 30 分）

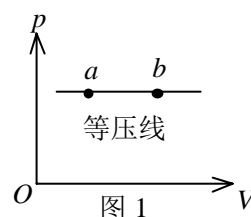
1、1 mol 氧气(视为刚性双原子分子的理想气体)贮于一氧气瓶中，温度为  $27^{\circ}\text{C}$ ，这瓶氧气的内能为\_\_\_\_\_J；分子的平均平动能为\_\_\_\_\_J；分子的平均总动能为\_\_\_\_\_J。

(摩尔气体常量  $R = 8.31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  玻尔兹曼常量  $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$ )

2、图示的曲线分别表示了氢气和氦气在同一温度下的分子速率的分布情况。由图可知，氦气分子的最概然速率为\_\_\_\_\_，氢气分子的最概然速率为\_\_\_\_\_。

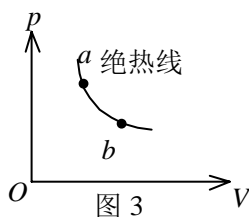
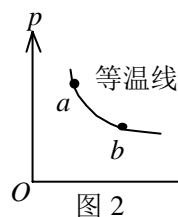


3、三个附图所示分别是一定量理想气体的等压线、等温线和绝热线。试判断各图上  $a$ 、 $b$  两点中处于哪一点的状态时理想气体的内能大。在内能大的那一点上画上“√”。若在两点时内能一样大，则在两点上都画上“√”。



4、惠更斯—菲涅耳原理的基本内容是：波阵面上各面积元所发出的子波在观察点  $P$  的\_\_\_\_\_，决定了  $P$  点的合振动及光强。

5、两个偏振片叠放在一起，强度为  $I_0$  的自然光垂直入射其上，若通过两个偏振片后的光强为  $I_0/8$ ，则此两偏振片的偏振化方向间的夹角(取锐角)是\_\_\_\_\_，若在两片之间再插入一片偏振片，其偏振化方向与前后两片的偏振化方向的夹角(取锐角)相等。则通过三个偏振片后的透射光强度为\_\_\_\_\_。



6、圆偏振光通过一个四分之一波片后，出射的光是\_\_\_\_\_偏振光。

7、观察者甲以  $\frac{4}{5}c$  的速度 ( $c$  为真空中光速) 相对于静止的观察者乙运动，若甲携带一长度为  $l$ 、截面积为  $S$ ，质量为  $m$  的棒，这根棒安放在运动方向上，则  
(1) 甲测得此棒的密度为\_\_\_\_\_；  
(2) 乙测得此棒的密度为\_\_\_\_\_。

8、根据氢原子理论，若大量氢原子处于主量子数  $n = 5$  的激发态，则跃迁辐射的谱线可以有\_\_\_\_\_条，其中属于巴耳末系的谱线有\_\_\_\_\_条。

9、在电子单缝衍射实验中，若缝宽为  $a = 0.1 \text{ nm}$  ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ )，电子束垂直射在单缝面上，则衍射的电子横向动量的最小不确定量  $\Delta p_y = \underline{\hspace{2cm}} \text{ N} \cdot \text{s}$ 。  
(不确定关系式  $\Delta x \cdot \Delta p \geq h$ ，普朗克常量  $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ )

10、设描述微观粒子运动的波函数为  $\Psi(\vec{r}, t)$ ，则  $\Psi\Psi^*$  表示：

\_\_\_\_\_；

$\Psi(\vec{r}, t)$  须满足的条件是\_\_\_\_\_；其归一化条件是\_\_\_\_\_。

### 三、 计算题（每小题 10 分，共 40 分）

1、1 mol 理想气体在  $T_1 = 400 \text{ K}$  的高温热源与  $T_2 = 300 \text{ K}$  的低温热源间作卡诺循环(可逆的)，在  $400 \text{ K}$  的等温线上起始体积为  $V_1 = 0.001 \text{ m}^3$ ，终止体积为  $V_2 = 0.005 \text{ m}^3$ ，试求此气体在每一循环中

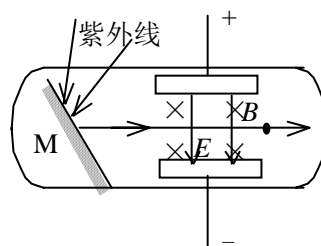
- (1) 从高温热源吸收的热量  $Q_1$
- (2) 气体所作的净功  $W$
- (3) 气体传给低温热源的热量  $Q_2$

2、氢放电管发出的光垂直照射到某光栅上，测得波长  $\lambda_1 = 0.668 \mu\text{m}$  的谱线的衍射角为  $\varphi = 20^\circ$ 。如果在同样  $\varphi$  角处出现波长  $\lambda_2 = 0.447 \mu\text{m}$  的更高级次的谱线，那么光栅常数最小是多少？

3、在惯性系  $K$  中，有两个事件同时发生在  $x$  轴上相距  $1000 \text{ m}$  的两点，而在另一惯性系  $K'$ （沿  $x$  轴方向相对于  $K$  系运动）中测得这两个事件发生的地点相距  $2000 \text{ m}$ 。求在  $K'$  系中测得这两个事件的时间间隔。

4、如图所示，某金属  $M$  的红限波长  $\lambda_0 = 260 \text{ nm}$  ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ) 今用单色紫外线照射该金属，发现有光电子放出，其中速度最大的光电子可以匀速直线地穿过互相垂直的均匀电场(场强  $E = 5 \times 10^3 \text{ V/m}$ )和均匀磁场(磁感应强度为  $B = 0.005 \text{ T}$ )区域，求：

- (1) 光电子的最大速度  $v$ 。
  - (2) 单色紫外线的波长  $\lambda$ 。
- (电子静止质量  $m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$ ，普朗克常量  $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J s}$ )



## 参考答案

### 一. 选择题

1. (D) 2. (A) 3. (A) 4. (C) 5. (B) 6. (D) 7. (C) 8. (C) 9. (D) 10. (B)

### 二. 填空题

1.  $6.23 \times 10^3$   
 $6.21 \times 10^{-21}$   
 $1.035 \times 10^{-21}$

2. 1000 m/s  
 $\sqrt{2} \times 1000$  m/s

3. 答案见图

图 1

图 2

图 3

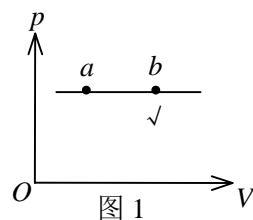


图 1

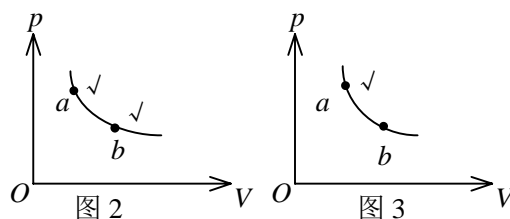


图 2

图 3

4. 干涉(或答“相干叠加”)

5.  $60^\circ$  (或  $\pi/3$ )  
 $9I_0/32$

6. 线

7.  $\frac{m}{lS}$   
 $\frac{25m}{9lS}$

8. 10  
 3

9.  $6.63 \times 10^{-24}$

10. 粒子在  $t$  时刻在  $(x, y, z)$  处出现的概率密度  
 单值、有限、连续

$$\iiint |\Psi|^2 dx dy dz = 1$$

### 三. 计算题

1. 解: (1)  $Q_1 = RT_1 \ln(V_2/V_1) = 5.35 \times 10^3$  J

$$(2) \quad \eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 0.25.$$

$$W = \eta Q_1 = 1.34 \times 10^3 \text{ J}$$

$$(3) \quad Q_2 = Q_1 - W = 4.01 \times 10^3 \text{ J}$$

2. 解：由光栅公式得

$$\sin \varphi = k_1 \lambda_1 / (a+b) = k_2 \lambda_2 / (a+b)$$

$$k_1 \lambda_1 = k_2 \lambda_2$$

$$k_2 / k_1 = \lambda_1 / \lambda_2 = 0.668 / 0.447$$

将  $k_2 / k_1$  约化为整数比  $k_2 / k_1 = 3 / 2 = 6 / 4 = 12 / 8 \dots\dots$

取最小的  $k_1$  和  $k_2$ ， $k_1 = 2, k_2 = 3$ ，

则对应的光栅常数  $(a+b) = k_1 \lambda_1 / \sin \varphi = 3.92 \mu\text{m}$

3. 解：根据洛伦兹变换公式：

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}, \quad t' = \frac{t - vx/c^2}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}$$

可得

$$x'_2 = \frac{x_2 - vt_2}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}, \quad x'_1 = \frac{x_1 - vt_1}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}$$

在  $K$  系，两事件同时发生， $t_1 = t_2$ ，则

$$x'_2 - x'_1 = \frac{x_2 - x_1}{\sqrt{1 - (v/c)^2}},$$

$$\therefore \sqrt{1 - (v/c)^2} = (x_2 - x_1) / (x'_2 - x'_1) = \frac{1}{2}$$

解得

$$v = \sqrt{3}c/2.$$

在  $K'$  系上述两事件不同时发生，设分别发生于  $t'_1$  和  $t'_2$  时刻，

$$\text{则} \quad t'_1 = \frac{t_1 - vx_1/c^2}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}, \quad t'_2 = \frac{t_2 - vx_2/c^2}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}$$

由此得

$$t'_1 - t'_2 = \frac{v(x_2 - x_1)/c^2}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} = 5.77 \times 10^{-6} \text{ s}$$

4. 解：(1) 当电子匀速直线地穿过互相垂直的电场和磁场区域时，电子所受静电力与洛伦兹力相等，即

$$eE = evB$$

$$v = E/B = 10^6 \text{ m/s}$$

(2) 根据爱因斯坦光电理论，则有

$$hc/\lambda = hc/\lambda_0 + \frac{1}{2}m_e v^2$$

$\therefore$

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{\lambda_0}{1 + \frac{1}{2} \left( \frac{m_e v^2 \lambda_0}{hc} \right)} \\ &= 1.63 \times 10^{-7} \text{ m} = 163 \text{ nm} \end{aligned}$$

# 一、 选择题

1、若理想气体的体积为  $V$ ，压强为  $p$ ，温度为  $T$ ，一个分子的质量为  $m$ ， $k$  为玻尔兹曼常量， $R$  为普适气体常量，则该理想气体的分子数为：

- (A)  $pV/m$  . (B)  $pV/(kT)$ .  
(C)  $pV/(RT)$ . (D)  $pV/(mT)$ .

[       ]

2、一定量某理想气体所经历的循环过程是：从初态( $V_0, T_0$ )开始，先经绝热膨胀使其体积增大 1 倍，再经等体升温回复到初态温度  $T_0$ ，最后经等温过程使其体积回复为  $V_0$ ，则气体在此循环过程中.

- (A) 对外作的净功为正值. (B) 对外作的净功为负值.  
(C) 内能增加了. (D) 从外界净吸的热量为正值.

[       ]

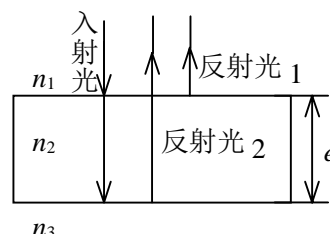
3、一定量的理想气体向真空作绝热自由膨胀，体积由  $V_1$  增至  $V_2$ ，在此过程中气体的

- (A) 内能不变，熵增加. (B) 内能不变，熵减少.  
(C) 内能不变，熵不变. (D) 内能增加，熵增加.

[       ]

4、单色平行光垂直照射在薄膜上，经上下两表面反射的两束光发生干涉，如图所示，若薄膜的厚度为  $e$ ，且  $n_1 < n_2 > n_3$ ， $\lambda_1$  为入射光在  $n_1$  中的波长，则两束反射光的光程差为

- (A)  $2n_2e$ . (B)  $2n_2e - \lambda_1/(2n_1)$ .  
(C)  $2n_2e - n_1 \lambda_1/2$ . (D)  $2n_2e - n_2 \lambda_1/2$ .



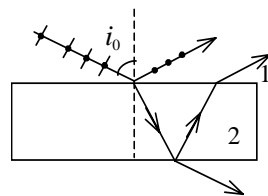
[       ]

5、两块平玻璃构成空气劈形膜，左边为棱边，用单色平行光垂直入射．若上面的平玻璃慢慢地向上平移，则干涉条纹

- (A) 向棱边方向平移，条纹间隔变小.  
(B) 向棱边方向平移，条纹间隔变大.  
(C) 向棱边方向平移，条纹间隔不变.  
(D) 向远离棱边的方向平移，条纹间隔不变.  
(E) 向远离棱边的方向平移，条纹间隔变小.

[       ]

6、一束自然光自空气射向一块平板玻璃(如图), 设入射角等于布儒斯特角  $i_0$ , 则在界面 2 的反射光



- (A) 是自然光.
- (B) 是线偏振光且光矢量的振动方向垂直于入射面.
- (C) 是线偏振光且光矢量的振动方向平行于入射面.
- (D) 是部分偏振光.

[       ]

7、在某地发生两件事, 静止位于该地的甲测得时间间隔为 4 s, 若相对于甲作匀速直线运动的乙测得时间间隔为 5 s, 则乙相对于甲的运动速度是( $c$  表示真空中光速)

- (A)  $(4/5)c$ .                      (B)  $(3/5)c$ .
- (C)  $(2/5)c$ .                      (D)  $(1/5)c$ .

[       ]

8、 $\alpha$  粒子在加速器中被加速, 当其质量为静止质量的 3 倍时, 其动能为静止能量的

- (A) 2 倍.              (B) 3 倍.              (C) 4 倍.              (D) 5 倍.

[       ]

9、康普顿效应的主要特点是

- (A) 散射光的波长均比入射光的波长短, 且随散射角增大而减小, 但与散射体的性质无关.
- (B) 散射光的波长均与入射光的波长相同, 与散射角、散射体性质无关.
- (C) 散射光中既有与入射光波长相同的, 也有比入射光波长长的和比入射光波长短的. 这与散射体性质有关.
- (D) 散射光中有些波长比入射光的波长长, 且随散射角增大而增大, 有些散射光波长与入射光波长相同. 这都与散射体的性质无关.

[       ]

10、在氢原子的 K 壳层中, 电子可能具有的量子数( $n, l, m_l, m_s$ )是

- (A)  $(1, 0, 0, \frac{1}{2})$ .                      (B)  $(1, 0, -1, \frac{1}{2})$ .
- (C)  $(1, 1, 0, -\frac{1}{2})$ .                      (D)  $(2, 1, 0, -\frac{1}{2})$ .

[       ]

## 二、 填空题

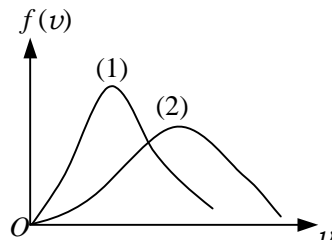
1、若某容器内温度为 300 K 的二氧化碳气体(视为刚性分子理想气体)的内能为  $3.74 \times 10^3 \text{ J}$ ,

则该容器内气体分子总数为\_\_\_\_\_.

(玻尔兹曼常量  $k=1.38 \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$ , 阿伏伽德罗常量  $N_A=6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ )

2、现有两条气体分子速率分布曲线(1)和(2), 如图所示.

若两条曲线分别表示同一种气体处于不同的温度下的速率分布, 则曲线\_\_\_\_\_表示气体的温度较高. 若两条曲线分别表示同一温度下的氢气和氧气的速率分布, 则曲线\_\_\_\_\_表示的是氧气的速率分布.

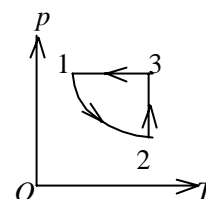


3、已知一定量的理想气体经历  $p-T$  图上所示的循环过程, 图中各过程的吸热、放热情况为:

(1) 过程 1—2 中, 气体\_\_\_\_\_.

(2) 过程 2—3 中, 气体\_\_\_\_\_.

(3) 过程 3—1 中, 气体\_\_\_\_\_.



4、惠更斯引入\_\_\_\_\_的概念提出了惠更斯原理,

菲涅耳再用\_\_\_\_\_的思想补充了惠更斯原理, 发展成了惠更斯—菲涅耳原理.

5、使光强为  $I_0$  的自然光依次垂直通过三块偏振片  $P_1$ ,  $P_2$  和  $P_3$ .  $P_1$  与  $P_2$  的偏振化方向成

$45^\circ$  角,  $P_2$  与  $P_3$  的偏振化方向成  $45^\circ$  角. 则透过三块偏振片的光强  $I$  为\_\_\_\_\_.

6、将方解石晶体磨制成薄片, 其光轴平行于表面, 且厚度  $d$  满足下式:

$$(n_o - n_e)d = k\lambda + \lambda/4$$

式中  $\lambda$  为入射光波长,  $k$  为正整数. 这种晶体薄片称为\_\_\_\_\_片.

7、观察者甲以  $0.8c$  的速度 ( $c$  为真空中光速) 相对于静止的观察者乙运动, 若甲携带一质量为  $1 \text{ kg}$  的物体, 则

(1) 甲测得此物体的总能量为\_\_\_\_\_;

(2) 乙测得此物体的总能量为\_\_\_\_\_.

8、设大量氢原子处于  $n=4$  的激发态, 它们跃迁时发射出一簇光谱线. 这簇光谱线最多可能

有 \_\_\_\_\_ 条, 其中最短的波长是 \_\_\_\_\_  $\text{\AA}$

(普朗克常量  $h=6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ )

9、如果电子被限制在边界  $x$  与  $x+\Delta x$  之间,  $\Delta x=0.5 \text{ \AA}$ , 则电子动量  $x$  分量的不确定量近似

地为\_\_\_\_\_  $\text{kg} \cdot \text{m} / \text{s}$ . (不确定关系式  $\Delta x \cdot \Delta p \geq h$ , 普朗克常量  $h=6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ )

10、粒子在一维无限深方势阱中运动 (势阱宽度为  $a$ ), 其波函数为

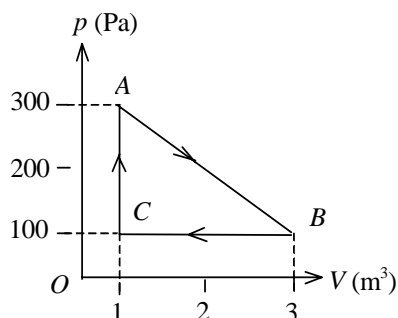
$$\psi(x) = \sqrt{\frac{2}{a}} \sin \frac{3\pi x}{a} \quad (0 < x < a),$$

粒子出现的概率最大的各个位置是  $x =$  \_\_\_\_\_.

### 三、 计算题

1、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).

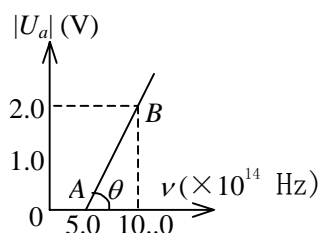


2、氢放电管发出的光垂直照射在某光栅上, 在衍射角  $\varphi=41^\circ$  的方向上看到  $\lambda_1=656.2\text{ nm}$  和  $\lambda_2=410.1\text{ nm}$  ( $1\text{ nm}=10^{-9}\mu$ ) 的谱线相重合, 求光栅常数最小是多少?

3、在  $K$  惯性系中, 相距  $\Delta x = 5 \times 10^6\text{ m}$  的两个地方发生两事件, 时间间隔  $\Delta t = 10^{-2}\text{ s}$ ; 而在相对于  $K$  系沿正  $x$  方向匀速运动的  $K'$  系中观测到这两事件却是同时发生的. 试计算在  $K'$  系中发生这两事件的地点间的距离  $\Delta x'$  是多少?

4、图中所示为在一次光电效应实验中得出的曲线

- (1) 求证: 对不同材料的金属,  $AB$  线的斜率相同.
- (2) 由图上数据求出普朗克恒量  $h$ .  
(基本电荷  $e=1.60 \times 10^{-19}\text{ C}$ )





## 参考答案

### 一. 选择题

1. (B) 2. (B) 3. (A) 4. (C) 5. (C) 6. (B) 7. (B) 8. (A) 9. (D) 10. (A)

### 二. 填空题

1.  $3.01 \times 10^{23}$  个

2. (2)  
(1)

3. 吸热  
放热  
放热

4. 子波  
子波干涉(或答“子波相干叠加”)

5.  $I_0 / 8$

6. 四分之一波 (或  $\lambda / 4$ )

7.  $9 \times 10^{16} \text{ J}$   
 $1.5 \times 10^{17} \text{ J}$

8. 6  
973

9.  $1.33 \times 10^{-23}$

10.  $a / 6$ ,  
 $a / 2$ ,  
 $5 a / 6$ .

### 三. 计算题

1. 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

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

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

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

- (2) 各过程中气体所作的功分别为

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

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

$$C \rightarrow A: \quad W_3 = 0$$

(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

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

2. 解:  $(a+b) \sin \varphi = k \lambda$

在  $\varphi = 41^\circ$  处,  $k_1 \lambda_1 = k_2 \lambda_2$

$$k_2 / k_1 = \lambda_1 / \lambda_2 = 656.2 / 410.1 = 8 / 5 = 16 / 10 = 24 / 15 = \dots\dots\dots$$

取  $k_1 = 5$ ,  $k_2 = 8$ , 即让  $\lambda_1$  的第 5 级与  $\lambda_2$  的第 8 级相重合

$$\therefore a + b = k_1 \lambda_1 / \sin \varphi = 5 \times 10^{-4} \text{ cm}$$

3. 解: 设两系的相对速度为  $v$ . 根据洛伦兹变换, 对于两事件, 有

$$\Delta x = \frac{\Delta x' + v \Delta t'}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}$$

$$\Delta t = \frac{\Delta t' + (v/c^2) \Delta x'}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}$$

由题意:  $\Delta t' = 0$

可得  $\Delta t = (v/c^2) \Delta x$

及  $\Delta x' = \Delta x \sqrt{1 - (v/c)^2}$

由上两式可得  $\Delta x' = [(\Delta x)^2 - (c^2 \Delta t / c)^2]^{1/2} = [\Delta x^2 - c^2 \Delta t^2]^{1/2} = 4 \times 10^6 \text{ m}$

4. 解: (1) 由  $e|U_a| = h\nu - A$

得  $|U_a| = h\nu / e - A / e$

$$d|U_a| / d\nu = h / e \quad (\text{恒量})$$

由此可知, 对不同金属, 曲线的斜率相同.

$$(2) \quad h = e \tan \theta = e \frac{2.0 - 0}{(10.0 - 5.0) \times 10^{14}} \\ = 6.4 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

### 一. 选择题

1. 若  $f(v)$  为气体分子速率分布函数,  $N$  为分子总数,  $m$  为分子质量, 则  $\int_{v_1}^{v_2} \frac{1}{2} m v^2 N f(v) dv$  的物理意义是

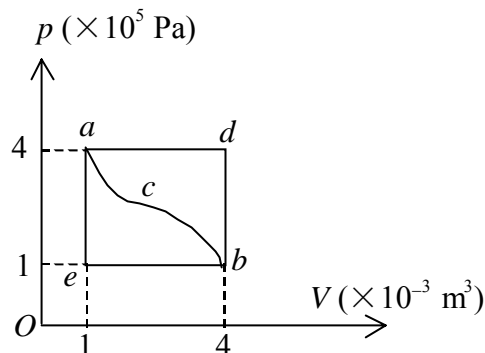
- (A) 速率为  $v_2$  的各分子的总平动动能与速率为  $v_1$  的各分子的总平动动能之差.  
 (B) 速率为  $v_2$  的各分子的总平动动能与速率为  $v_1$  的各分子的总平动动能之和.  
 (C) 速率处在速率间隔  $v_1 \sim v_2$  之内的分子的平均平动动能.  
 (D) 速率处在速率间隔  $v_1 \sim v_2$  之内的分子平动动能之和.

[       ]

2. 一定量的理想气体经历  $acb$  过程时吸热 500 J. 则经历  $acbda$  过程时, 吸热为

- (A) -1200 J.        (B) -700 J.  
 (C) -400 J.        (D) 700 J.

[       ]



3. 一平面简谐波的表达式为  $y = A \cos 2\pi(\nu t - x/\lambda)$ . 在  $t = 1/\nu$  时刻,  $x_1 = 3\lambda/4$  与  $x_2 = \lambda/4$  二点处质元速度之比是

- (A) -1.        (B)  $\frac{1}{3}$ .        (C) 1.        (D) 3

[       ]

4. 一平面简谐波在弹性媒质中传播时, 某一时刻媒质中某质元在负的最大位移处, 则它的能量是

- (A) 动能最大, 势能为零.        (B) 动能最大, 势能最大.  
 (C) 动能为零, 势能为零.        (D) 动能为零, 势能最大.

[       ]

5. 根据惠更斯-菲涅耳原理, 若已知光在某时刻的波阵面为  $S$ , 则  $S$  的前方某点  $P$  的光强度决定于波阵面  $S$  上所有面积元发出的子波各自传到  $P$  点的

- (A) 振动振幅之和.        (B) 光强之和.  
 (C) 振动振幅之和的平方.        (D) 振动的相干叠加.

[       ]

6. 波长  $\lambda = 550 \text{ nm}$  ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ) 的单色光垂直入射于光栅常数  $d = 2 \times 10^{-4} \text{ cm}$  的平面衍射光栅上, 可能观察到的光谱线的最大级次为

- (A) 5.        (B) 4.        (C) 3.        (D) 2.

[       ]

7. 电子显微镜中的电子从静止开始通过电势差为  $U$  的静电场加速后, 其德布罗意波长是  $0.4 \text{ \AA}$ , 则  $U$  约为

- (A) 150 V.        (B) 330 V.  
 (C) 630 V.        (D) 940 V.        (普朗克常量  $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ )

[       ]

8. 波长  $\lambda = 5000 \text{ \AA}$  的光沿  $x$  轴正向传播, 若光的波长的不确定量  $\Delta\lambda = 10^{-3} \text{ \AA}$ , 则利用不确定关系式  $\Delta p_x \Delta x \geq h$  可得光子的  $x$  坐标的不确定量至少为

- (A) 25 cm. (B) 50 cm.  
(C) 250 cm. (D) 500 cm. (普朗克常量  $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ )

[ ]

9. 已知粒子在一维矩形无限深势阱中运动, 其波函数为:

$$\psi(x) = \frac{1}{\sqrt{a}} \cdot \cos \frac{3\pi x}{2a}, \quad (-a \leq x \leq a)$$

那么粒子在  $x = 5a/6$  处出现的概率密度为

- (A)  $1/(2a)$ . (B)  $1/a$ .  
(C)  $1/\sqrt{2a}$ . (D)  $1/\sqrt{a}$ .

[ ]

10. 在原子的 K 壳层中, 电子可能具有的四个量子数( $n, l, m_l, m_s$ )是

- (1)  $(1, 1, 0, \frac{1}{2})$ . (2)  $(1, 0, 0, \frac{1}{2})$ .  
(3)  $(2, 1, 0, -\frac{1}{2})$ . (4)  $(1, 0, 0, -\frac{1}{2})$ .

以上四种取值中, 哪些是正确的?

- (A) 只有(1)、(3)是正确的.  
(B) 只有(2)、(4)是正确的.  
(C) 只有(2)、(3)、(4)是正确的.  
(D) 全部是正确的.

[ ]

## 二. 填空题

1. 已知一容器内的理想气体在温度为 273 K、压强为  $1.0 \times 10^{-2} \text{ atm}$  时, 其密度为  $1.24 \times 10^{-2}$

$\text{kg/m}^3$ , 则该气体的摩尔质量  $M_{\text{mol}} =$  \_\_\_\_\_; 容器单位体积内分子的总平动

动能 = \_\_\_\_\_.

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

2. 同一种理想气体的定压摩尔热容  $C_p$  大于定体摩尔热容  $C_v$ , 其原因是

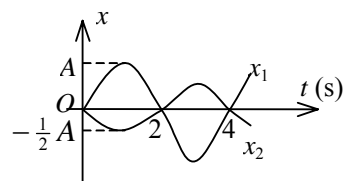
\_\_\_\_\_.

3. 两个弹簧振子的周期都是 0.4 s, 设开始时第一个振子从平衡位置向负方向运动, 经过

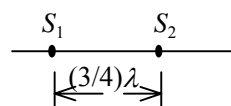
0.5 s 后, 第二个振子才从正方向的端点开始运动, 则这两振动的相位差为\_\_\_\_\_.

4. 如图所示的是两个简谐振动的振动曲线, 它们合

成的余弦振动的初相为\_\_\_\_\_.



5. 如图所示, 两相干波源  $S_1$  与  $S_2$  相距  $3\lambda/4$ ,  $\lambda$  为波长. 设两波在  $S_1$   $S_2$  连线上传播时, 它们的振幅都是  $A$ , 并且不随距离变化. 已知在该直线上在  $S_1$  左侧各点的合成波强度为其中一个波强度的 4



倍, 则两波源应满足的相位条件是\_\_\_\_\_.

6. 波长为  $\lambda_2$  与  $\lambda_1$  (设  $\lambda_1 > \lambda_2$ ) 的两种平行单色光垂直照射到劈形膜上, 已知劈形膜的折射率为  $n$  ( $n > 1$ ), 劈形膜放在空气中, 在反射光形成的干涉条纹中, 这两种单色光的从棱边数起第五级暗条纹所对应的薄膜厚度之差是\_\_\_\_\_.

7. 波长为  $\lambda$  的单色光垂直入射在缝宽  $a = 4\lambda$  的单缝上. 对应于衍射角  $\varphi = 30^\circ$ , 单缝处的波面可划分为\_\_\_\_\_个半波带.

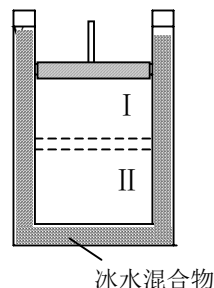
8. 使光强为  $I_0$  的自然光依次垂直通过三块偏振片  $P_1$ ,  $P_2$  和  $P_3$ .  $P_1$  与  $P_2$  的偏振化方向成  $45^\circ$  角,  $P_2$  与  $P_3$  的偏振化方向成  $45^\circ$  角. 则透过三块偏振片的光强  $I$  为\_\_\_\_\_.

9. 光子波长为  $\lambda$ , 则其能量 = \_\_\_\_\_; 动量的大小 = \_\_\_\_\_; 质量 = \_\_\_\_\_.

10. 根据泡利不相容原理, 在主量子数  $n = 4$  的电子壳层上最多可能有的电子数为\_\_\_\_\_个.

### 三. 计算题

1. 如图所示, 一金属圆筒中盛有 1 mol 刚性双原子分子的理想气体, 用可动活塞封住, 圆筒浸在冰水混合物中. 迅速推动活塞, 使气体从标准状态(活塞位置 I) 压缩到体积为原来一半的状态(活塞位置 II), 然后维持活塞不动, 待气体温度下降至  $0^\circ\text{C}$ , 再让活塞缓慢上升到位置 I, 完成一次循环.

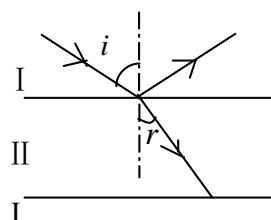


- (1) 试在  $p-V$  图上画出相应的理想循环曲线;  
(2) 若作 100 次循环放出的总热量全部用来熔解冰, 则有多少冰被熔化?  
(已知冰的熔解热  $\lambda = 3.35 \times 10^5 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 普适气体常量  $R = 8.31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )

2. 已知一平面简谐波的表达式为  $y = A \cos \pi(4t + 2x)$  (SI).

- (1) 求该波的波长  $\lambda$ , 频率  $\nu$  和波速  $u$  的值;  
(2) 写出  $t = 4.2 \text{ s}$  时刻各波峰位置的坐标表达式, 并求出此时离坐标原点最近的那个波峰的位置;  
(3) 求  $t = 4.2 \text{ s}$  时离坐标原点最近的那个波峰通过坐标原点的时刻  $t$ .

3. 如图所示, 媒质 I 为空气( $n_1 = 1.00$ ), II 为玻璃( $n_2 = 1.60$ ), 两个交界面相互平行. 一束自然光由媒质 I 中以  $i$  角入射. 若使 I、II 交界面上的反射光为线偏振光,



- (1) 入射角  $i$  是多大?  
(2) 图中玻璃上表面处折射角是多大?  
(3) 在图中玻璃板下表面处的反射光是否也是线偏振光?

4. 在双缝干涉实验中, 双缝与屏间的距离  $D=1.2\text{ m}$ , 双缝间距  $d=0.45\text{ mm}$ , 若测得屏上干涉条纹相邻明条纹间距为  $1.5\text{ mm}$ , 求光源发出的单色光的波长  $\lambda$ .

5. 用某频率的单色光照射基态氢原子气体, 使气体发射出三种频率的谱线, 试求原照射单色光的频率.

(普朗克常量  $h=6.63\times 10^{-34}\text{ J}\cdot\text{s}$ ,  $1\text{ eV}=1.60\times 10^{-19}\text{ J}$ )

## 参考答案

### 一. 选择题

1.[D] 2.[B] 3.[A] 4.[C] 5.[D] 6.[C] 7.[D] 8.[C] 9.[A] 10.[B]

### 二. 填空题

1.  $28\times 10^{-3}\text{ kg/mol}$  ,  $1.5\times 10^3\text{ J}$  ;

2. 在等压升温过程中, 气体要膨胀而对外做功, 所以要比气体等体升温过程多吸收一部分热量. ;

3.  $\pi$  ; 4.  $-\frac{1}{2}\pi$  或  $\frac{3}{2}\pi$  ;

5.  $S_1$  的相位比  $S_2$  的相位超前  $\pi/2$  ; 6.  $2(\lambda_1 - \lambda_2)/n$  ;

7. 4 ; 8.  $I_0/8$

9.  $hc/\lambda$  ,  $h/\lambda$  ,  $h/(c\lambda)$  ; 10. 32

### 三. 计算题

1. 解: (1)  $p-V$  图上循环曲线如图所示, 其中  $ab$  为绝热线,  $bc$  为等体线,  $ca$  为等温线。

图 3 分

(2) 等体过程放热为  $Q_V = C_V(T_2 - T_1)$  ①

等温过程吸热为  $Q_T = RT_1 \ln \frac{V_1}{V_1/2}$  ②

绝热过程方程  $V_1^{\gamma-1} T_1 = (\frac{V_1}{2})^{\gamma-1} T_2$  ③

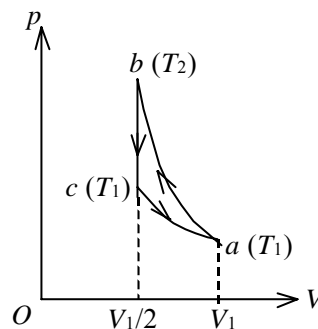
双原子分子气体  $C_V = \frac{5}{2}R$ ,  $\gamma = 1.4$

由①~③式解得系统一次循环放出的净热量为

$$Q = Q_V - Q_T = \frac{5}{2}R(2^{\gamma-1} - 1)T_1 - RT_1 \ln 2 = 240 \text{ J}$$

若 100 次循环放出的总热量全部用来熔解冰, 则熔解的冰的质量为

$$m = \frac{100Q}{\lambda} = 7.16 \times 10^{-2} \text{ kg}$$



2. 解: 这是一个向  $x$  轴负方向传播的波.

(1) 由波数  $k = 2\pi / \lambda$  得波长  $\lambda = 2\pi / k = 1 \text{ m}$

由  $\omega = 2\pi\nu$  得频率  $\nu = \omega / 2\pi = 2 \text{ Hz}$

波速  $u = \nu\lambda = 2 \text{ m/s}$

(2) 波峰的位置, 即  $y = A$  的位置.

由  $\cos \pi(4t + 2x) = 1$

有  $\pi(4t + 2x) = 2k\pi \quad (k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$

解上式, 有  $x = k - 2t$ .

当  $t = 4.2 \text{ s}$  时,  $x = (k - 8.4) \text{ m}$ .

所谓离坐标原点最近, 即  $|x|$  最小的波峰. 在上式中取  $k = 8$ , 可得  $x = -0.4$  的波峰离坐标原点最近.

(3) 设该波峰由原点传播到  $x = -0.4 \text{ m}$  处所需的时间为  $\Delta t$ ,

则  $\Delta t = |\Delta x| / u = |\Delta x| / (\nu\lambda) = 0.2 \text{ s}$

$\therefore$  该波峰经过原点的时刻  $t = 4 \text{ s}$

3. 解: (1) 由布儒斯特定律

$$\text{tg } i = n_2 / n_1 = 1.60 / 1.00$$

$$i = 58.0^\circ$$

(2)  $r = 90^\circ - i = 32.0^\circ$

(3) 因二界面平行, 所以下表面处入射角等于  $r$ ,

$$\text{tg } r = \text{ctg } i = n_1 / n_2$$

满足布儒斯特定律, 所以图中玻璃板下表面处的反射光也是线偏振光.

4. 解: 根据公式

$$x = k\lambda D / d$$

相邻条纹间距

$$\Delta x = D \lambda / d$$

则

$$\lambda = d\Delta x / D = 562.5 \text{ nm}.$$

5. 解: 按题意可知单色光照射的结果, 氢原子被激发至  $n = 3$  的状态(因为它发射三种频率的谱线), 故知原照射光子的能量为

$$\varepsilon = E_3 - E_1 = -\frac{13.6}{3^2} - (-13.6) = 12.09 \text{ eV} = 1.93 \times 10^{-18} \text{ J}$$

该单色光的频率为

$$\nu = \frac{\varepsilon}{h} = 2.92 \times 10^{15} \text{ Hz}$$





### 一. 选择题

1. 假定氧气的热力学温度提高一倍, 氧分子全部离解为氧原子, 则这些氧原子的平均速率是原来氧分子平均速率的

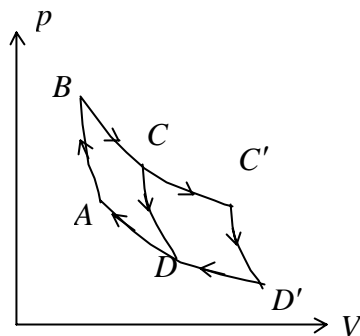
- (A) 4 倍. (B) 2 倍.  
(C)  $\sqrt{2}$  倍. (D)  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  倍.

[       ]

2. 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  $\eta_1$  和  $\eta_2$  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)  $\eta_1 > \eta_2, W_1 = W_2$ .  
(C)  $\eta_1 = \eta_2, W_1 > W_2$ .  
(D)  $\eta_1 = \eta_2, W_1 < W_2$ .

[       ]



3. 一弹簧振子作简谐振动, 当其偏离平衡位置的位移的大小为振幅的  $1/4$  时, 其动能为振动总能量的

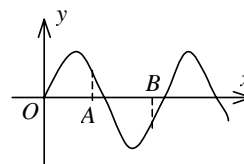
- (A)  $15/16$ . (B)  $13/16$   
(C)  $11/16$ . (D)  $9/16$ .

[       ]

4. 图示一平面简谐机械波在  $t$  时刻的波形曲线. 若此时  $A$  点处媒质质元的振动动能在增大, 则

- (A)  $A$  点处质元的弹性势能在减小.  
(B) 波沿  $x$  轴负方向传播.  
(C)  $B$  点处质元的振动动能在减小.  
(D) 各点的波的能量密度都不随时间变化.

[       ]



5. 波长为  $\lambda$  的单色平行光垂直入射到一狭缝上, 若第一级暗纹的位置对应的衍射角为  $\theta = \pm \pi/6$ , 则缝宽的大小为

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

[       ]

6. 一束平行单色光垂直入射在光栅上, 当光栅常数  $(a + b)$  为下列哪种情况时 ( $a$  代表每条缝的宽度),  $k=3, 6, 9$  等级次的主极大均不出现?

- (A)  $a+b=2a$ . (B)  $a+b=3a$ .  
(C)  $a+b=4a$ . (D)  $a+b=6a$ .

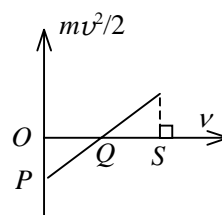
[       ]

7. 光电效应中发射的光电子最大初动能随入射光频率  $\nu$  的变化关系如图所示. 由图中的

- (A)  $OQ$  (B)  $OP$   
(C)  $OP/OQ$  (D)  $QS/OS$

可以直接求出普朗克常量.

[ ]



8. 如果两种不同质量的粒子, 其德布罗意波长相同, 则这两种粒子的

- (A) 动量相同. (B) 能量相同.  
(C) 速度相同. (D) 动能相同.

[ ]

9. 不确定关系式  $\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \hbar$  表示在  $x$  方向上

- (A) 粒子位置不能准确确定.  
(B) 粒子动量不能准确确定.  
(C) 粒子位置和动量都不能准确确定.  
(D) 粒子位置和动量不能同时准确确定.

[ ]

10. 氢原子中处于 3d 量子态的电子, 描述其量子态的四个量子数( $n, l, m_l, m_s$ )可能取的值为

- (A)  $(3, 0, 1, -\frac{1}{2})$ . (B)  $(1, 1, 1, -\frac{1}{2})$ .  
(C)  $(2, 1, 2, \frac{1}{2})$ . (D)  $(3, 2, 0, \frac{1}{2})$ .

[ ]

## 二. 填空题

1. 下面给出理想气体的几种状态变化的关系, 指出它们各表示什么等值过程.

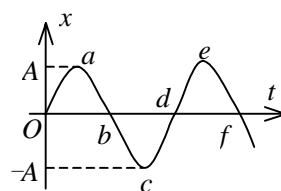
- (1)  $p dV = (M / M_{\text{mol}}) R dT$  表示\_\_\_\_\_过程.  
(2)  $V dp = (M / M_{\text{mol}}) R dT$  表示\_\_\_\_\_过程.  
(3)  $p dV + V dp = 0$  表示\_\_\_\_\_过程.

2. 有一瓶质量为  $M$  的氢气(视作刚性双原子分子的理想气体, 氢气的摩尔质量计为  $M_{\text{mol}}$ ), 温度为  $T$ , 则氢分子的平均平动能为\_\_\_\_\_, 氢分子的平均动能为\_\_\_\_\_, 该瓶氢气的内能为\_\_\_\_\_.

3. 处于平衡态  $A$  的一定量的理想气体, 若经准静态等体过程变到平衡态  $B$ , 将从外界吸收热量 416J; 若经准静态等压过程变到与平衡态  $B$  有相同温度的平衡态  $C$ , 将从外界吸收热量 582J, 所以, 从平衡态  $A$  变到平衡态  $C$  的准静态等压过程中气体对外界所作的功为\_\_\_\_\_.

4. 一竖直悬挂的弹簧振子, 自然平衡时弹簧的伸长量为  $x_0$ , 此振子自由振动的周期  $T =$ \_\_\_\_\_.

5. 一水平弹簧简谐振子的振动曲线如图所示. 当振子处在位移为零、速度为 $-\omega A$ 、加速度为零和弹性力为零的状态时, 应对应于曲线上的\_\_\_\_\_点. 当振子处在位移的绝对值为 $A$ 、速度为零、加速度为 $-\omega^2 A$ 和弹性力为 $-kA$ 的状态时, 应对应于曲线上的\_\_\_\_\_点.



6. 两相干波源  $S_1$  和  $S_2$  的振动方程分别是  $y_1 = A \cos \omega t$  和  $y_2 = A \cos(\omega t + \frac{1}{2}\pi)$ .  $S_1$  距  $P$  点 3 个波长,  $S_2$  距  $P$  点  $21/4$  个波长. 两波在  $P$  点引起的两个振动的相位差是\_\_\_\_\_.

7. 在迈克耳孙干涉仪的一条光路中, 插入一块折射率为  $n$ , 厚度为  $d$  的透明薄片. 插入这块薄片使这条光路的光程改变了\_\_\_\_\_.

8. 光强为  $I_0$  的自然光垂直通过两个偏振片后, 出射光强  $I=I_0/8$ , 则两个偏振片的偏振化方向之间的夹角为\_\_\_\_\_.

9. 当一束自然光以布儒斯特角入射到两种媒质的分界面上时, 就偏振状态来说反射光为\_\_\_\_\_光, 其振动方向\_\_\_\_\_于入射面.

10. 钴( $Z = 27$ )有两个电子在  $4s$  态, 没有其它  $n \geq 4$  的电子, 则在  $3d$  态的电子可有\_\_\_\_\_个.

### 三. 计算题

1. 汽缸内有 2 mol 氦气, 初始温度为  $27^\circ\text{C}$ , 体积为 20 L(升), 先将氦气等压膨胀, 直至体积加倍, 然后绝热膨胀, 直至回复初温为止. 把氦气视为理想气体. 试求:

(1) 在  $p-V$  图上大致画出气体的状态变化过程.

(2) 在这过程中氦气吸热多少?

(3) 氦气的内能变化多少?

(4) 氦气所作的总功是多少? (普适气体常量  $R=8.31 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ )

2. 一横波沿绳子传播, 其波的表达式为  $y = 0.05 \cos(100\pi t - 2\pi x)$  (SI)

(1) 求此波的振幅、波速、频率和波长.

(2) 求绳子上各质点的最大振动速度和最大振动加速度.

(3) 求  $x_1 = 0.2 \text{ m}$  处和  $x_2 = 0.7 \text{ m}$  处二质点振动的相位差.

3. 用波长为  $500 \text{ nm}$  ( $1 \text{ nm}=10^{-9} \text{ m}$ ) 的单色光垂直照射到由两块光学平玻璃构成的空气劈形膜上. 在观察反射光的干涉现象中, 距劈形膜棱边  $l = 1.56 \text{ cm}$  的  $A$  处是从棱边算起的第四条暗条纹中心.

(1) 求此空气劈形膜的劈尖角  $\theta$ ;

(2) 改用  $600 \text{ nm}$  的单色光垂直照射到此劈尖上仍观察反射光的干涉条纹,  $A$  处是明条纹还是暗条纹?

(3) 在第(2)问的情形从棱边到  $A$  处的范围内共有几条明纹? 几条暗纹?

4. 若光子的波长和电子的德布罗意波长  $\lambda$  相等, 电子的静止质量计为  $m_0$ . 试求光子的质量与电子的质量之比.

## 参考答案

### 一. 选择题

1.[B] 2.[D] 3.[A] 4.[B] 5.[C] 6.[B] 7.[C] 8.[A] 9.[D] 10.[D]

### 二. 填空题 (每题 3 分, 共 30 分)

1. 等压                      等体                      等温  
2.  $\frac{3}{2}kT$                        $\frac{5}{2}kT$                        $\frac{5}{2}MRT/M_{\text{mol}}$

3. 166 J

4.  $2\pi\sqrt{x_0/g}$

5.  $b, f$                        $a, e$

6. 0

7.  $2(n-1)d$

8.  $60^\circ$

9. 完全偏振光 (或线偏振光)                      垂直

10. 7

参考解: 钴的电子组态为  $1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^6, 3d^7, 4s^2$ .

### 三. 计算题 (共 40 分)

1. 解: (1)  $p-V$  图如图.

$$(2) T_1 = (273 + 27) \text{ K} = 300 \text{ K}$$

$$\text{据 } V_1/T_1 = V_2/T_2,$$

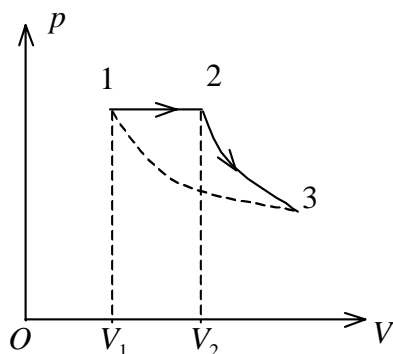
$$\text{得 } T_2 = V_2 T_1 / V_1 = 600 \text{ K}$$

$$Q = \nu C_p (T_2 - T_1) \\ = 1.25 \times 10^4 \text{ J}$$

$$(3) \Delta E = 0$$

$$(4) \text{ 据 } Q = W + \Delta E$$

$$\therefore W = Q = 1.25 \times 10^4 \text{ J}$$



2. 解: (1) 已知波的表达式为  $y = 0.05 \cos(100\pi t - 2\pi x)$  与标准形式  $y = A \cos(2\pi \nu t - 2\pi x / \lambda)$  比较得

$$A = 0.05 \text{ m}, \quad \nu = 50 \text{ Hz}, \quad \lambda = 1.0 \text{ m}$$

$$u = \lambda \nu = 50 \text{ m/s}$$

$$(2) v_{\text{max}} = (\partial y / \partial t)_{\text{max}} = 2\pi \nu A = 15.7 \text{ m/s}$$

$$a_{\text{max}} = (\partial^2 y / \partial t^2)_{\text{max}} = 4\pi^2 \nu^2 A = 4.93 \times 10^3 \text{ m/s}^2$$

$$(3) \Delta \phi = 2\pi(x_2 - x_1) / \lambda = \pi, \text{ 二振动反相}$$

3. 解: (1) 棱边处是第一条暗纹中心, 在膜厚度为  $e_2 = \frac{1}{2} \lambda$  处是第二条暗纹中心, 依此可知

第四条暗纹中心处, 即 A 处膜厚度  $e_4 = \frac{3}{2} \lambda$

$$\therefore \theta = e_4 / l = 3\lambda / (2l) = 4.8 \times 10^{-5} \text{ rad}$$

(2) 由上问可知 A 处膜厚为  $e_4 = 3 \times 500 / 2 \text{ nm} = 750 \text{ nm}$

对于  $\lambda' = 600 \text{ nm}$  的光, 连同附加光程差, 在 A 处两反射光的光程差为

$2e_4 + \frac{1}{2} \lambda'$ , 它与波长  $\lambda'$  之比为  $2e_4 / \lambda' + \frac{1}{2} = 3.0$ . 所以 A 处是明纹

(3) 棱边处仍是暗纹, A 处是第三条明纹, 所以共有三条明纹, 三条暗纹.

4. 解: 光子动量:  $p_r = m_r c = h / \lambda$  ①

电子动量:  $p_e = m_e v = h / \lambda$  ②

两者波长相等, 有  $m_r c = m_e v$   
得到  $m_r / m_e = v / c$  ③

电子质量  $m_e = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}}$  ④

式中  $m_0$  为电子的静止质量. 由②、④两式解出

$$v = \frac{c}{\sqrt{1 + (m_0^2 \lambda^2 c^2 / h^2)}}$$

代入③式得  $\frac{m_r}{m_e} = \frac{1}{\sqrt{1 + (m_0^2 \lambda^2 c^2 / h^2)}}$