

中国科学院合肥物质科学研究院
2006 年招收攻读硕士学位研究生入学考试试题

试题名称： 光学（总分 150 分）

（答案写在答题纸上）

一、选择题（共 45 分，每小题 5 分）

1、真空中波长为 632.8 nm 的红光，其频率为：

(A) 4.74×10^{14} Hz, (B) 1.58×10^6 Hz, (C) 1.58×10^4 cm⁻¹, (D) 3.0×10^8 m s⁻¹

2、光线由玻璃内部入射到玻璃—空气界面，玻璃和空气的折射率分别是 1.5 和 1.0。请问以下哪种情形下，光线将发生全反射？

(A) 正入射, (B) 入射角 30°, (C) 入射角 45°, (D) 不可能发生全反射

3、晴朗的天空呈现蓝色，主要是因为：

(A) 阳光中蓝光辐射所占的比例最高；(B) 大气分子对蓝光散射较强；(C) 人眼对蓝光的响应最为灵敏；(D) 地球表面对蓝光的反射很强

4、一束自然光以布儒斯特角入射到平面玻璃上（不考虑内部反射），反射光的偏振状态是

(A) 自然光；(B) 圆偏振光；(C) s 方向线偏振光；(D) p 方向线偏振光。

5、黑体辐射极大值所对应的波长 λ_M 与黑体的绝对温度 T 之间的关系，可以用维恩位移定律来表示，即： $\lambda_M T = b$ ，其中 $b = 0.288$ cm K。请据此判断太阳的辐射温度最接近于：

(A) 300 K, (B) 3000 K, (C) 6000 K, (D) 10000K

6、现有一台光栅光谱仪备有同样大小的 4 块光栅：90 条/mm, 600 条/mm, 1200 条/mm, 2400 条/mm。当光谱范围在可见光波段时，应当选用的光栅是

(A) 90 条/mm, (B) 600 条/mm, (C) 1200 条/mm, (D) 2400 条/mm

7、一物体通过透镜成实像。如果物体向透镜靠近并仍保持成实像，则它的像

(A) 也向透镜靠近；(B) 离开透镜更远；(C) 位置不变；(D) 不一定，以上三种情况都有可能

8、当增大照相机的光圈直径时，

(A) 像面的照度降低；(B) 景深增大；(C) 景深降低；(D) 焦距增大

$$\left(\frac{dN_{21}}{dt}\right)_{\text{受激}} + \left(\frac{dN_{21}}{dt}\right)_{\text{自发}} = B_{21}u_T(\nu)N_2 + A_{21}N_2$$

由能级 E_1 跃迁到 E_2 的原子数为

$$\left(\frac{dN_{12}}{dt}\right)_{\text{吸收}} = B_{12}u_T(\nu)N_1$$

达到细致平衡时二者相等

$$\left(\frac{dN_{21}}{dt}\right)_{\text{受激}} + \left(\frac{dN_{21}}{dt}\right)_{\text{自发}} = \left(\frac{dN_{12}}{dt}\right)_{\text{吸收}}$$

或

$$B_{21}u_T(\nu)N_2 + A_{21}N_2 = B_{12}u_T(\nu)N_1 \quad (1)$$

按正则分布律和波尔条件

$$\frac{N_1}{N_2} = e^{\frac{E_2 - E_1}{kT}} = e^{\frac{h\nu}{kT}} \quad (2)$$

另一方面, 根据普朗克公式

$$u_T(\nu) = \frac{8\pi h}{c^3} \frac{\nu^3}{e^{h\nu/kT} - 1} \quad (3)$$

将 (2)、(3) 式带入 (1) 式, 得

$$\frac{8\pi h}{c^3} \frac{\nu^3}{e^{h\nu/kT} - 1} = \frac{A_{21}}{B_{12}e^{\frac{h\nu}{kT}} - B_{21}}$$

要上式两端对任何 $h\nu/kT$ 之值均成立, 必须系数分别相等, 即

$$\frac{A_{21}}{B_{12}} = \frac{A_{21}}{B_{21}} = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3}$$

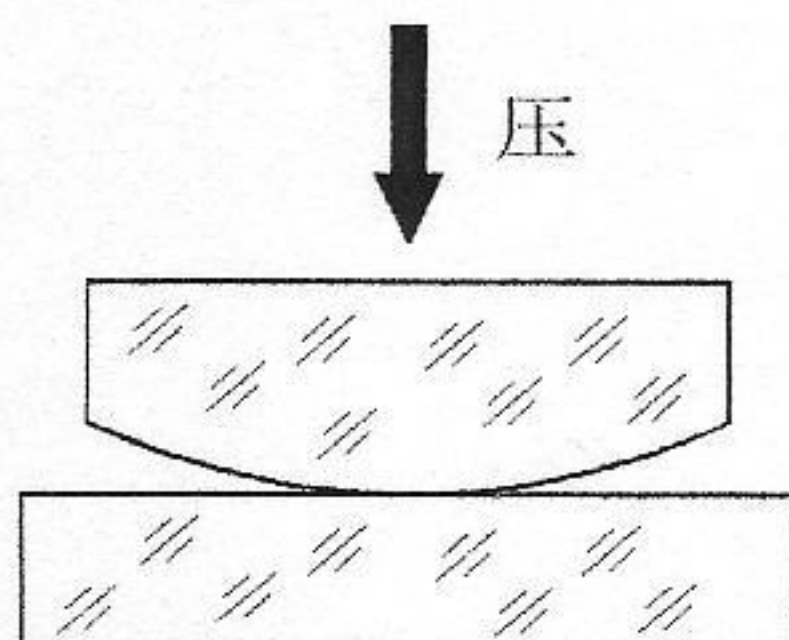
或者

$$\begin{cases} B_{12} = B_{21} \\ A_{21} = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} B_{21} = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} B_{12} \end{cases}$$

以上便是 3 个爱因斯坦系数之间的关系。

9、如下图所示，利用一个曲率半径很大的凸透镜和一块平面玻璃，可以观察到等厚干涉的牛顿圈。如果轻轻下压凸透镜，则牛顿圈

- (A) 向外扩大；(B) 向内收缩；(C) 不变；(D) 间距变小

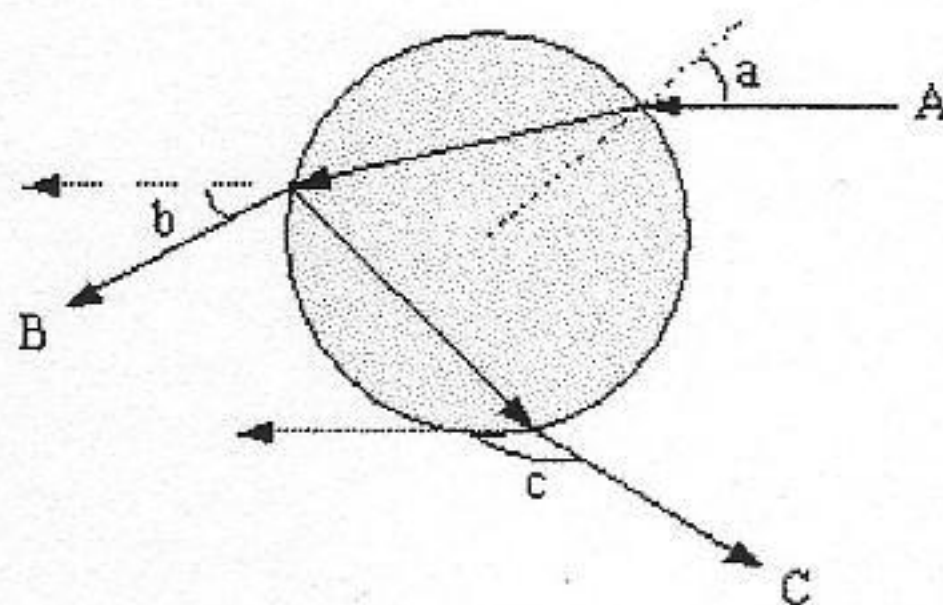


二、(本题 10 分)

试证明，一个理想漫射体受到照度为 E 的辐射时，反射光的亮度 $B = E/\pi$ 。

三、(本题 15 分)

如下图所示，从太阳射来的一条光线 A ，进入球形的水滴后，经一次折射后，沿光线 B 的方向透出水滴；另有经一次内反射及一次折射后，沿光线 C 的方向透出水滴。设光线 A 入射水滴表面的入射角为 a ，水的折射率为 n ，分别求出透出光线 B 与入射光线 A 之间的偏向角 b ，以及透出光线 C 与 A 之间的偏向角 c ，以 a 和 n 表示之。



四、(本题 20 分，每小题各 10 分)

一个 15 cm 宽的光栅，每毫米内有 1200 个衍射单元，

(1) 在可见光波段的中部 ($\lambda = 550 \text{ nm}$) 此光栅能分辨的最小波长差为多少？

(2) 用此光栅作为分光元件，组成一台光谱仪。采用线阵 CCD 器件作为摄谱传感器，其空间分辨本领是 100 条/mm。为了充分利用光栅的色分辨本领，这台光谱仪器的焦距至少有多长？

五、(本题 18 分，每小题各 6 分)

在透振方向正交的起偏器 M 和 N 之间，插入理想偏振片 P ，入射自然光强为 I_0 。

(1) 出射光强为 $\frac{1}{8}I_0$ 时，偏振片 P 相对于 N 的夹角是多少？

(2) 出射光强为 0 时，偏振片 P 相对于 N 的夹角是多少？

(3) 能否找到偏振片 P 的合适角度，使最后通过的光强为入射自然光强的 $1/2$ ？

六、(本题 20 分, 每小题 4 分)

波长为 2000 \AA 的光照到铝表面, 对铝来说, 移去一个电子所需的能量为 4.2 eV 。试问:

- (1) 出射的最快光电子的能量是多少?
- (2) 出射的最慢光电子的能量是多少?
- (3) 遏止电压为多少?
- (4) 铝的截止波长为多少?
- (5) 如果入射光强度为 2.0 W/m^2 , 单位时间打到单位面积上的平均光子数为多少?

七、(本题 22 分)

- (1) 请简述自发辐射、受激辐射和受激吸收的概念。(6 分)
- (2) 在具有两个能级 E_1 、 E_2 的体系中, $E_2 > E_1$ 。用 A_{21} 、 B_{12} 和 B_{21} 分别表示自发辐射、受激吸收和受激辐射的爱因斯坦系数, 请利用细致平衡条件推导它们之间的关系式。(16 分)

(可能用到的普朗克公式: 辐射能的谱密度 $u_T(\nu) = \frac{8\pi h}{c^3} \frac{\nu^3}{e^{h\nu/kT} - 1}$)

一、选择题（共 45 分，每小题 5 分）

1、真空中波长为 632.8 nm 的红光，其频率为：

(A) 4.74×10^{14} Hz, (B) 1.58×10^6 Hz, (C) 1.58×10^4 cm⁻¹, (D) 3.0×10^8 m s⁻¹

答案：A

说明：考察最基本的光学量单位和光速值

2、光线由玻璃内部入射到玻璃—空气界面，玻璃和空气的折射率分别是 1.5 和 1.0。请问以下哪种情形下，光线将发生全反射？

(A) 正入射, (B) 入射角 30°, (C) 入射角 45°, (D) 不可能发生全反射

答案：C

说明：考察全反射的基本概念和判断三角函数值大小的基本计算能力

3、晴朗的天空呈现蓝色，主要是因为：

(A) 阳光中蓝光辐射所占的比例最高；(B) 大气分子对蓝光散射较强；(C) 人眼对蓝光的响应最为灵敏；(D) 地球表面对蓝光的反射很强

答案：B

4、一束自然光以布儒斯特角入射到平面玻璃上（不考虑内部反射），反射光的偏振状态是

(A) 自然光；(B) 圆偏振光；(C) s 方向线偏振光；(D) p 方向线偏振光。

答案：D

5、黑体辐射极大值所对应的波长 λ_M 与黑体的绝对温度 T 之间的关系，可以用维恩位移定律来表示，即： $\lambda_M T = b$ ，其中 $b = 0.288$ cm K。请据此判断太阳的辐射温度最接近于：

(A) 300 K, (B) 3000 K, (C) 6000 K, (D) 10000 K

答案：C

说明：考察黑体辐射的基本概念和可见光颜色对应的大致波长

赵凯华《光学》（下册）

6、现有一台光栅光谱仪备有同样大小的 4 块光栅：90 条/mm，600 条/mm，1200 条/mm，2400 条/mm。当光谱范围在可见光波段时，应当选用的光栅是

(A) 90 条/mm, (B) 600 条/mm, (C) 1200 条/mm, (D) 2400 条/mm

答案：(C)

说明：考察光栅分光原理、光栅公式和光栅量程的概念

赵凯华《光学》（下册）习题

7、一物体通过透镜成实像。如果物体向透镜靠近并仍保持成实像，则它的像

(A) 也向透镜靠近；(B) 离开透镜更远；(C) 位置不变；(D) 不一定，以上三种情况都有可能

答案：(B)

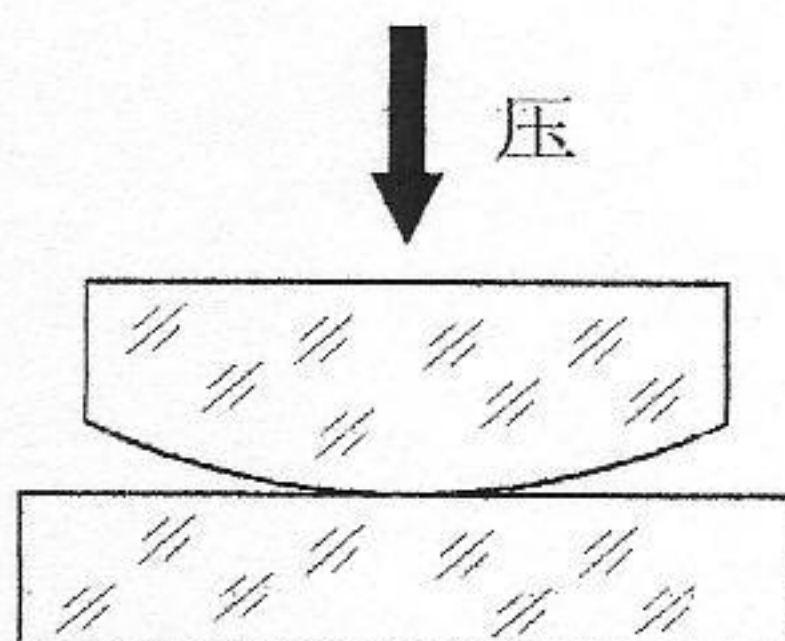
8、当增大照相机的光圈直径时，

(A) 像面的照度降低；(B) 景深增大；(C) 景深降低；(D) 焦距增大

答案：(C)

9、如下图所示，利用一个曲率半径很大的凸透镜和一块平面玻璃，可以观察到等厚干涉的牛顿圈。如果轻轻下压凸透镜，则牛顿圈

(A) 向外扩大；(B) 向内收缩；(C) 不变；(D) 间距变小



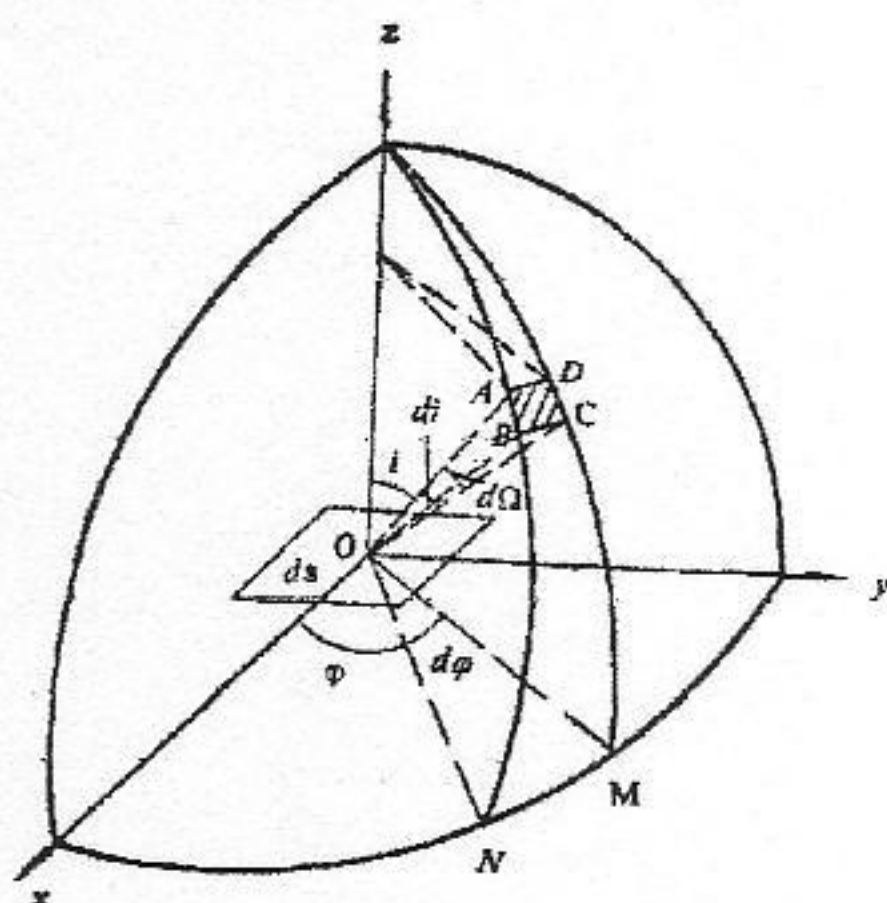
答案：(A)

二、(本题 10 分)

试证明，一个理想漫射体受到照度为 E 的辐射时，反射光的亮度 $B = E/\pi$ 。

(考察光度学基本概念。赵凯华《光学》上册 133 页习题 4，答案可见张以谟《应用光学》143 页)

答案：



如上图所示，漫射体表面的面元为 ds ，其表面法线沿 z 轴方向。辐射方向的立体角为

$$d\Omega = \sin i di d\varphi$$

其中 i 和 φ 分别是天顶角和方位角。亮度是由垂直于传播方向的单位面元发出的、单位立体角内的光通量。对于理想漫射体，所有入射辐射都被反射到上半球空间，并且各方向具有相同的亮度。则由面元 ds 发出的上半球空间内的的通量是

$$\begin{aligned} d\Phi &= ds \int_0^{\pi/2} di \int_0^{2\pi} d\varphi (B \cdot \sin i \cdot \cos i) \\ &= \pi B ds \end{aligned}$$

照度是照射在单位面元上的通量，即

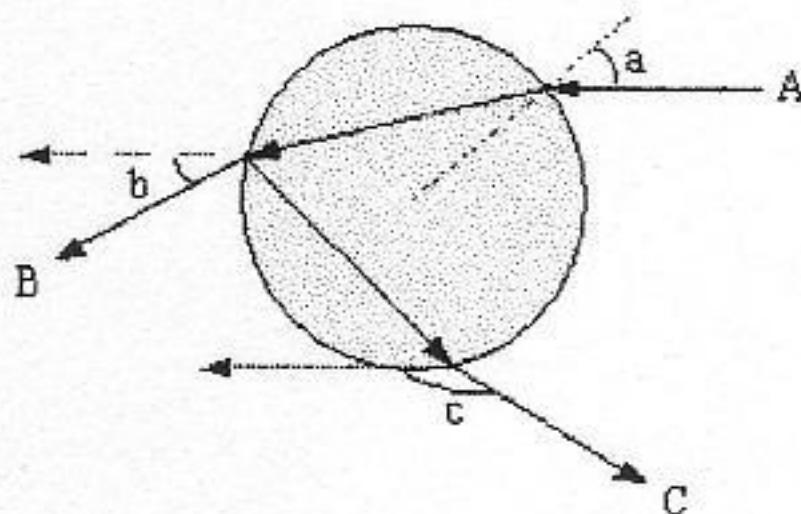
$$E = \frac{d\Phi}{ds}$$

由上两式可得理想漫射体的照度与亮度关系为

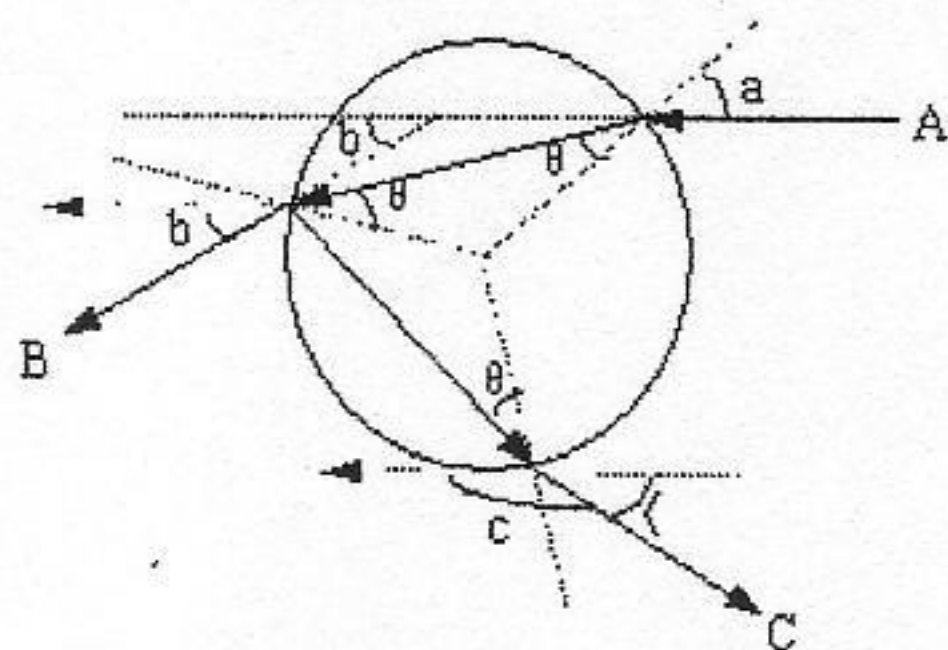
$$B = E / \pi$$

三、(本题 15 分)

如下图所示, 从太阳射来的一条光线 A, 进入球形的水滴后, 经一次折射后, 沿光线 B 的方向透出水滴; 另有经一次内反射及一次折射后, 沿光线 C 的方向透出水滴。设光线 A 入射水滴表面的入射角为 a , 水的折射率为 n , 分别求出透出光线 B 与入射光线 A 之间的偏向角 b , 以及透出光线 C 与 A 之间的偏向角 c , 以 a 和 n 表示之。



(考察几何光学的基本推导能力)



答案:

由左图中的几何关系, 可得

$$b = 2(a - \theta)$$

$$c = \pi - (4\theta - 2a)$$

由 Snell 折射定律得

$$\sin a = n \sin \theta$$

$$\theta = \sin^{-1} \left(\frac{\sin a}{n} \right)$$

从而得到

$$b = 2 \left[a - \sin^{-1} \left(\frac{\sin a}{n} \right) \right]$$

$$c = \pi - \left[4 \sin^{-1} \left(\frac{\sin a}{n} \right) - 2a \right]$$

四、(本题 20 分, 每小题各 10 分)

一个 15 cm 宽的光栅, 每毫米内有 1200 个衍射单元,

(1) 在可见光波段的中部 ($\lambda = 550 \text{ nm}$) 此光栅能分辨的最小波长差为多少?

(2) 用此光栅作为分光元件, 组成一台光谱仪。采用线阵 CCD 器件作为摄谱传感器, 其空间分辨本领是 100 条/mm。为了充分利用光栅的色分辨本领, 这台光谱仪器的焦距至少有多长?

(考察衍射光栅原理。赵凯华《光学》下册 22 页习题 2 和 3, 略作改动)

答案:

(1) 光栅常数 $d = (1/1200) \text{ mm}$

光栅衍射单元总数 $N = 15 \text{ cm} \times 1200 / \text{mm} = 180000$

一级光谱的色分辨本领 $R = kN = 180000$, 其中级次 $k = 1$

在 550 nm 能分辨的最小波长间隔 $\delta\lambda = \lambda / R = 0.003 \text{ nm}$ (或 0.03 埃)

(2) 根据题意, 应当要求光栅的线色散本领能将波长差 $\delta\lambda = 0.003 \text{ nm}$ 的两条谱线分开到

(1/100) mm 的线距离, 即

$$D_l = \frac{1}{100 \times 0.003} \text{ mm/nm} = 3.33 \text{ mm/nm}, (\text{或 } 0.33 \text{ mm/\AA})$$

仪器的焦距应为

$$\begin{aligned} f &= \frac{D_l d \cos \theta_k}{k} \\ &= \frac{D_l \sqrt{d^2 - (d \sin \theta_k)^2}}{k} \\ &= \frac{D_l \sqrt{d^2 - (k\lambda)^2}}{k} \\ &= 2084 \text{ mm} \end{aligned}$$

五、(本题 18 分, 每小题各 6 分)

在透振方向正交的起偏器 M 和 N 之间, 插入理想偏振片 P, 入射自然光强为 I_0 。

- (1) 出射光强为 $\frac{1}{8}I_0$ 时, 偏振片 P 相对于 N 的夹角是多少?
- (2) 出射光强为 0 时, 偏振片 P 相对于 N 的夹角是多少?
- (3) 能否找到偏振片 P 的合适角度, 使最后通过的光强为入射自然光强的 1/2?

解: (1) 入射自然光的光强为 I_0

通过 M 后的光强为: $\frac{1}{2}I_0$

通过 P 后的光强为: $\frac{1}{2}I_0 \sin^2 \theta$

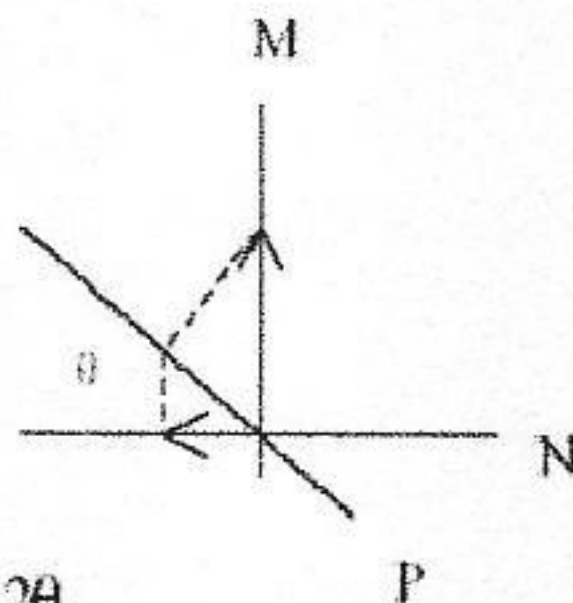
通过 N 后的光强为: $I = \frac{1}{2}I_0 \sin^2 \theta \cos^2 \theta = \frac{1}{8}I_0 \sin^2 2\theta$

$$I = \frac{1}{8}I_0; \sin^2 2\theta = 1, \theta = 45^\circ$$

插入偏振片 P 与 M、N 均成 45°

(2) $I = 0; \sin^2 2\theta = 0, \theta = 0, \frac{\pi}{2}$ 插入偏振片 P 与 M 平行或与 N 平行时, 最后通过的光强为零

(3) $I = \frac{1}{2}I_0; \sin^2 2\theta = 4$ 这是不可能的, 因此不论插入偏振片 P 的方位如何, 最后通过的光强都不可能为 $\frac{1}{2}I_0$



六、(本题 20 分, 每小题 4 分)

波长为 2000 \AA 的光照到铝表面, 对铝来说, 移去一个电子所需的能量为 4.2 eV 。试问:

- (1) 出射的最快光电子的能量是多少?

- (2) 出射的最慢光电子的能量是多少?
 (3) 遏止电压为多少?
 (4) 铝的截止波长为多少?
 (5) 如果入射光强度为 2.0 W/m^2 , 单位时间打到单位面积上的平均光子数为多少?
 (可能用到的物理常数: 基本电荷 $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$, 普朗克常数 $6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$)
 (考察光电效应原理, 赵凯华《光学》下册 290 页习题)

答案:

- (1) 根据爱因斯坦光电效应公式

$$h\nu = \frac{1}{2}mv_0^2 + A$$

其中 $h\nu$ 是单个入射光子的能量, v_0 是光电子的初速度, A 是脱出功, 对于铝 $A = 4.2 \text{ eV}$ 。电子从金属内部逸出表面, 至少要耗费数量上等于 A 的能量, 具有最大逸出动能的电子应当位于金属表面, 它仅需要克服脱出功, 其最大动能

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}mv_0^2 &= h\nu - A \\ &= \frac{6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \times 3 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{2000 \times 10^{-10} \text{ m}} - 4.2 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ C} \cdot \text{V} \\ &= 3.225 \times 10^{-19} \text{ J} \end{aligned}$$

(2) 位于金属深层的电子, 除了需要克服脱出功外, 还将与内部结构发生碰撞而不断损失能量。某些电子在到达表面时动能将完全损失。因此最慢光电子能量为零。

(3) 遏止电压是使光电流为零时所加的反向电压, 它将使动能最高的电子也不能到达阳极。由

$$eV_0 = \frac{1}{2}mv_0^2$$

得到遏止电压

$$\begin{aligned} V_0 &= \frac{1}{2}mv_0^2 / e \\ &= 3.225 \times 10^{-19} \text{ J} / 1.6 \times 10^{-19} \text{ C} \\ &\approx 2 \quad (\text{V}) \end{aligned}$$

(4) 入射光子的能量小于脱出功时, 将不会有光电子逸出。由

$$h\nu = A$$

可得截止频率为

$$\begin{aligned} \nu &= A/h \\ &= 4.2 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ C} \cdot \text{V} / 6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \\ &= 1.01 \times 10^{15} \quad (\text{Hz}) \end{aligned}$$

(5) 单位时间入射到单位面积上的光通量为

$$\Phi = EtS = nh\nu$$

其中 E 为入射光强。则光子数为

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{EtS}{h\nu} \\
 &= \frac{2Wm^{-2} \times 1s \times 1m^2}{6.63 \times 10^{-34} J \cdot s \times 3 \times 10^8 m \cdot s^{-1} / (2000 \times 10^{-10} m)} \\
 &\approx 2 \times 10^{18} \quad (\text{个})
 \end{aligned}$$

七、(本题 22 分)

(1) 请简述自发辐射、受激辐射和受激吸收的概念。(6 分)

(2) 在具有两个能级 E_1 、 E_2 的体系中, $E_2 > E_1$ 。用 A_{21} 、 B_{12} 和 B_{21} 分别表示自发辐射、受激吸收和受激辐射的爱因斯坦系数, 请利用细致平衡条件推导它们之间的关系式。(16 分)

(可能用到的普朗克公式: 辐射能的谱密度 $u_T(\nu) = \frac{8\pi h}{c^3} \frac{\nu^3}{e^{h\nu/kT} - 1}$)

(考察爱因斯坦辐射理论和较复杂的推论能力, 赵凯华《光学》下册 298 页有完整推导)

答案:

(1)

在没有外来光子的情况下, 处在高能级的原子有一定的几率自发地向低能级跃迁, 从而发出一个光子来, 这种过程叫做自发辐射过程。

在满足频率条件 $\nu = \frac{E_2 - E_1}{h}$ 的外来光子的激励下, 高能级的原子向低能级跃迁, 并发出一个同频率的光子, 这种过程叫做受激辐射过程。

在满足频率条件 $\nu = \frac{E_2 - E_1}{h}$ 的外来光子的激励下, 低能级的原子向高能级跃迁, 这种过程叫做受激吸收过程。

(2)

设体系处于 E_1 和 E_2 能级的原子数分别是 N_1 和 N_2 。受激跃迁过程都是由外来光子引起的, 单位时间内每个原子的受激跃迁几率都与满足频率条件的外来光子数密度, 或原子周围该频率的辐射能密度的谱密度 $u(\nu)$ 成正比。单位时间内发生的每种跃迁过程的原子数 (dN/dt) 还应正比于始态的原子数 N 。因此, 对于受激辐射过程 ($E_2 \rightarrow E_1$)

$$\left(\frac{dN_{21}}{dt} \right)_{\text{受激}} = B_{21} u(\nu) N_2$$

对于受激吸收过程 ($E_1 \rightarrow E_2$)

$$\left(\frac{dN_{12}}{dt} \right)_{\text{吸收}} = B_{12} u(\nu) N_1$$

自发辐射过程 ($E_2 \rightarrow E_1$) 的几率只与始态 E_2 上的粒子数 N_2 有关, 与外来辐射能的密度无关。于是单位时间内发生自发辐射跃迁过程的原子数可写成

$$\left(\frac{dN_{21}}{dt} \right)_{\text{自发}} = A_{21} N_2$$

细致平衡, 是指在每对能级之间粒子的交换都达到平衡。在热平衡态中, $u(\nu)$ 等于标准能谱 $u_T(\nu)$, 则单位时间内由能级 E_2 跃迁到 E_1 的原子数为