

# 《大学物理 BII》作业 No.03 光的偏振

班级 \_\_\_\_\_ 学号 \_\_\_\_\_ 姓名 \_\_\_\_\_ 成绩 \_\_\_\_\_

\*\*\*\*\*本章教学要求\*\*\*\*\*

1. 理解光的横波特性、光的五种偏振态；掌握用偏振片起偏和检偏的方法。
2. 掌握马吕斯定律，能熟练应用它计算偏振光通过偏振片后的光强变化。
3. 理解光在反射和折射时偏振状态的变化，能应用布儒斯特定律计算起偏振角  $i_0$ ，掌握用反射和折射现象获得偏振光的方法。
4. 了解光的双折射现象。

## 一、选择题(6 小题，每题 4 分，共 24 分)

1. 在双缝干涉实验中，用单色自然光，在屏上形成干涉条纹。若在两缝后放一个偏振片，则 [ B ]

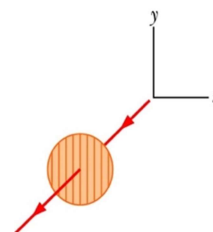
- (A) 干涉条纹的间距不变，但明纹的亮度加强  
(B) 干涉条纹的间距不变，但明纹的亮度减弱  
(C) 干涉条纹的间距变窄，但明纹的亮度减弱  
(D) 无干涉条纹

**解：**双缝后放置的偏振片使光强减弱，但不影响其它干涉因素，所以干涉条纹位置、间距不变，只是明纹亮度减弱。故选 B

2. 由如图所示的偏振片可以得到偏振化方向平行于  $y$  轴的偏振光。当自然光入射时，将偏振片绕如图所示的光传播的方向顺时针转动  $40^\circ$ ，通过偏振片的光强将会 [ C ]

- (A) 增大 (B) 减小 (C) 不变 (D) 不能确定

**解：**根据马吕斯定律，只要是自然光入射偏振片，光强变为原来的一半，所以无论怎样旋转偏振片，光强不会发生变化。



3. 某种透明介质对于空气的临界角(指全反射角)等于  $45^\circ$ ，光从空气射向此介质的布儒斯特角是 [ D ]

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

**解：**因全反射临界角为  $45^\circ$ ，所以  $\sin 45^\circ = \frac{1}{n}$ ，式中  $n$  为介质的折射率，即

$$n = \frac{1}{\sin 45^\circ} = \sqrt{2}$$

布儒斯特角满足  $\operatorname{tg} i_0 = n = \sqrt{2}$ ，可得  $i_0 = \arctg \sqrt{2} = 54.7^\circ$

4. 两偏振片堆叠在一起，一束自然光垂直入射其上时没有光线通过。当其中一偏振片慢慢转动  $180^\circ$  时透射光强度发生的变化为 [ B ]

- (A) 光强单调增加。  
(B) 光强先增加，后又减小至零。  
(C) 光强先增加，后减小，再增加。

(D) 光强先增加, 然后减小, 再增加, 再减小至零。

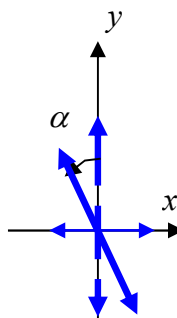
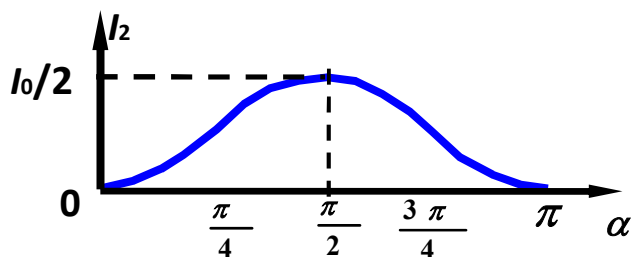
**解:** 因自然光垂直入射到堆叠在一起的两偏振片时, 没有光线通过, 表明两偏振片的偏振方向相互垂直, 则当其中一偏振片慢慢转动  $\alpha$  角时由偏振片起偏规律得:

自然光通过第一个偏振片后的光强为:  $I_1 = \frac{I_0}{2}$

强度为  $I_1$  的线偏振光再通过第二个偏振片后, 透射光强度为:

$$I_2 = \frac{I_0}{2} \cos^2(90^\circ + \alpha) = \frac{1 - \cos(2\alpha)}{4} I_0 \quad 0 \leq \alpha \leq 180^\circ$$

由此有透射光强度变化曲线为



由图知选 B

5. 自然光以  $60^\circ$  的入射角照射到不知其折射率的某一透明介质表面时, 反射光为线偏振光, 则知 [ B ]

- (A) 折射光为线偏振光, 折射角为  $30^\circ$  。
- (B) 折射光为部分偏振光, 折射角为  $30^\circ$  。
- (C) 折射光为线偏振光, 折射角不能确定。
- (D) 折射光为部分偏振光, 折射角不能确定。

**解:** 当自然光以布儒斯特角入射到两层介质分界面时, 自然光中平行于入射面振动的成分只折射不反射, 垂直于入射面振动的成分一部分反射一部分折射, 所以反射光为线偏振光, 折射光为部分偏振光。又因为此时反射线与折射线垂直, 入射角  $i_0$  与折射角  $\gamma$  互为余角, 所以折射角  $\gamma = 90^\circ - 60^\circ = 30^\circ$ 。

6. 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矢量振动方向的夹角分别为  $\alpha$  和  $90^\circ$ , 则通过这两个偏振片后的光强  $I$  是 [ C ]

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

**解:** 由马吕斯定律, 偏振光通过第一个偏振片后, 光强为  $I_1 = I_0 \cos^2 \alpha$ 。

再通过第二个偏振片后, 光强为:

$$I = I_1 \cos^2(90^\circ - \alpha) = I_0 \cos^2 \alpha \cos^2(90^\circ - \alpha) = I_0 \cos^2 \alpha \sin^2 \alpha = \frac{1}{4} I_0 \sin^2(2\alpha)$$

二、判断题(6 小题, 每题 2 分, 共 12 分): (用 “T” 表示正确和 “F” 表示错误)

[ T ] 1. 横波具有偏振性, 纵波不具有偏振性。

**解：**是否具有偏振性是区分横波与纵波的主要标志之一，只有横波才有偏振现象，纵波不具有偏振性。

[ F ] 2. 光的本性是电磁波，光波是横波。我们把磁场强度矢量称为光矢量。

**解：**光波是电磁波，光波中含有电场强度矢量和磁场强度矢量，并且都与传播方向垂直，所以光波是横波。实验表明，引起视觉和感光作用的是光波中的电场强度矢量，故称为光矢量。

[ T ] 3. 自然光可以正交分解为一对互相垂直、互相独立、振幅相等的光振动，但这两个光振动之间没有固定的相位差，振动频率也不相同。

**解：**普通光源发出的光是大量原子能级跃迁时发出的光波波列组成的，光振动在垂直于传播方向的平面内呈对称分布，因此各方向光振动的振幅相同。由于原子发光的独立性和随机性，这两个相互垂直的光振动之间没有固定的相位差，振动频率也不相同。

[ F ] 4. 自然光入射到介质分界面时，只要入射角大于它的布儒斯特角，则反射光为线偏振光。

**解：**布儒斯特定律指出：当自然光入射到介质分界面时，只有当入射角等于布儒斯特角时，反射光才为线偏振光。

[ F ] 5. 当检偏器旋转一周，如果从检偏器出射的光两次最强、两次最弱，那么入射光为线偏振光。

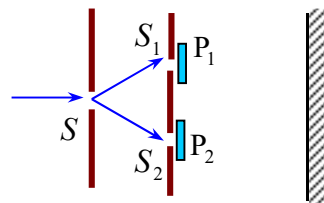
**解：**由部分偏振光的特性知道入射光也可以是部分偏振光。

[ T ] 6. 一般情况下，自然光在两种介质分界面上的反射光和折射光都是部分偏振光，其中反射光是垂直分量占优的部分偏振光，折射光是平行分量占优的部分偏振光。

**解：**由自然光在两种介质分界面反射折射的特性决定。

### 三、填空题(6 小题，每题 4 分，共 24 分)

1. 如图所示的杨氏双缝干涉装置，若用单色自然光照射狭缝 S，在屏幕上能看到干涉条纹。若在双缝  $S_1$  和  $S_2$  的前面分别加一同质同厚的偏振片  $P_1$ 、 $P_2$ ，则当  $P_1$  与  $P_2$  的偏振方向相互平行或接近平行时，在屏幕上仍能看到清晰的干涉条纹。



**解：**通过双缝的两束自然光再通过偏振片后，都变成线偏振光，只有当两偏振片的偏振化方向平行或接近平行时，两束光才满足振动方向相同的相干条件，屏上才有清晰的干涉条纹。

2. 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, 不考虑偏振片的吸收和反射,

若通过两个偏振片后的光强为  $\frac{I_0}{8}$ , 则此两偏振片的偏振化方向间的夹角为  $60^\circ$ 。

**解:** 自然光入射第一个偏振片后光强为  $\frac{1}{2}I_0$ , 是线偏振光。

线偏振光入射第二个偏振片后, 根据马吕斯定律, 光强  $I = \frac{1}{2}I_0 \cos^2 \alpha = \frac{1}{8}I_0$ , 所以

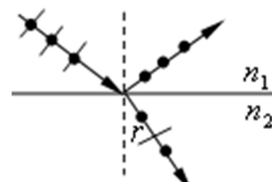
$\alpha = 60^\circ$ 。(为使结果简便而且统一, 我们一般选取锐角。当然如果学生非要用  $\alpha = 120^\circ$ , 也没错, 只能说明学生对我们的默认不清楚)

3. 如图所示, 一束自然光入射到折射率分别为  $n_1$  和  $n_2$  的两种介质的交界面上, 发生反射和折射。已知反射光是完全偏振光, 那么折射角  $\gamma$  的值为

$\frac{1}{2}\pi - \arctg(n_2 / n_1)$ 。

**解:** 由布儒斯特定律, 起偏振角为:  $i_0 = \arctg \frac{n_2}{n_1}$

又反射线与折射线垂直, 则折射角为:  $\gamma = \frac{\pi}{2} - i_0 = \frac{\pi}{2} - \arctg \frac{n_2}{n_1}$



4. 一束自然光从空气投射到玻璃表面上 (空气折射率为 1), 当折射角为  $30^\circ$  时, 反射光是完全偏振光, 则此玻璃板的折射率等于  $1.73$ 。

**解:** 由布儒斯特定律和折射定律, 当入射角为布儒斯特角时, 反射光线和折射光线传播方向互相垂直, 即布儒斯特角  $i_0 = 90^\circ - 30^\circ = 60^\circ$

此玻璃板的折射率为  $n = \tg i_0 = \tg 60^\circ = \sqrt{3} \approx 1.73$ 。

5. 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 7 倍, 那么入射光束中自然光与线偏振光的光强比值为  $1:3$ 。

**解:** 设入射自然光光强为  $I_1$ , 线偏振光光强为  $I_2$ , 混合光通过偏振片后光强为:

$$I = \frac{1}{2}I_1 + I_2 \cos^2 \alpha, \quad I_{\max} = \frac{1}{2}I_1 + I_2, \quad I_{\min} = \frac{1}{2}I_1,$$

$$\text{由题意 } \frac{I_{\max}}{I_{\min}} = \frac{\frac{1}{2}I_1 + I_2}{\frac{1}{2}I_1} = 7, \quad \text{可以解出: } \frac{I_1}{I_2} = \frac{1}{3}.$$

6. 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, 不考虑偏振片的吸收和反射, 若通过两个偏振片后的光强为  $\frac{I_0}{8}$ , 若在两片之间再插入一片偏振片, 其偏振化方向与前后两偏振化方向的夹角相等。则通过三个偏振片后的透射光强度为  $9I_0/32$ 。

**解：**自然光入射第一个偏振片后光强为  $\frac{1}{2}I_0$ ，是线偏振光。

线偏振光入射第二个偏振片后，由马吕斯定律，光强  $I = \frac{1}{2}I_0 \cos^2 \alpha = \frac{1}{8}I_0$ ，所以

$\alpha = 60^\circ$ 。（为使结果简便而且统一，我们一般选取锐角。当然如果学生非要用  $\alpha = 120^\circ$ ，也没错，只能说明学生对我们的默认不清楚）

插入一片偏振片，其偏振化方向与前后两偏振化方向的夹角相等，意味着插入偏振片的

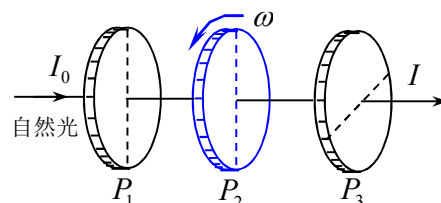
偏振化方向与前后两个偏振片的偏振化方向夹角都是  $30^\circ$ ，透射光强为

$$I = \frac{1}{2}I_0 \cos^2 30^\circ \cdot \cos^2 30^\circ = \frac{9}{32}I_0$$

（若取  $\alpha = 120^\circ$ ，则  $I = \frac{1}{2}I_0 \cos^2 60^\circ \cdot \cos^2 60^\circ = \frac{1}{32}I_0$ ）

#### 四、计算题(3 小题，每题 10 分，共 30 分)

1. 有三个偏振片堆叠在一起，第一块与第三块的偏振化方向相互垂直，初始时第二块和第一块的偏振化方向相互平行，然后第二块偏振片以恒定角速度  $\omega$  绕光传播方向旋转，如图所示。设入射自然光的光强为  $I_0$ ，求此自然光通过这一系统后出射光的光强。



**解：** $t$  时刻，三个偏振片的偏振化方向如右图所示，其中  $\theta = \omega t$ 。

由偏振片对自然光、线偏振光起偏规律：

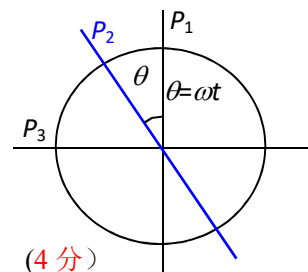
第一块偏振片透射光强为  $I_1 = \frac{I_0}{2}$

第二块偏振片透射光强为  $I_2 = I_1 \cos^2 \theta = \frac{I_0}{2} \cos^2 \theta$

第三块偏振片透射光强为  $I_3 = I_2 \cos^2 \left( \frac{\pi}{2} - \theta \right) = \frac{I_0}{2} \cos^2 \theta \cos^2 \left( \frac{\pi}{2} - \theta \right)$  (4 分)

自然光通过这一系统后，出射光的光强为

$$\begin{aligned} I_3 &= \frac{I_0}{2} \cos^2 \theta \cos^2 \left( \frac{\pi}{2} - \theta \right) \\ &= \frac{1}{8} I_0 \sin^2 (2\theta) = \frac{1}{16} I_0 (1 - \cos 4\theta) = \frac{1}{16} I_0 (1 - \cos 4\omega t) \end{aligned} \quad (2 \text{ 分})$$



2. 如图安排的三种透光媒质 I、II、III，其折射率分别为  $n_1 = 1.33$ ， $n_2 = 1.50$ ， $n_3 = 1$ 。两个交界面相互平行。一束自然光自媒质 I 中入射到 I 与 II 的交界面上，若反射光为线偏振光，

(1) 求入射角  $i$ ；

(2) 媒质 II，III 界面上的反射光是不是线偏振光？为什么？

解: (1) 由布儒斯特定律, 入射角为起偏角

$$i = \arctg\left(\frac{n_2}{n_1}\right) = \arctg\left(\frac{1.50}{1.33}\right) = 48.44^\circ \quad (3 \text{ 分})$$

(2) 设在媒质中折射角为  $\gamma$ , 则由布儒斯特定律有

$$\gamma = 90^\circ - 48.44^\circ = 41.56^\circ \quad (3 \text{ 分})$$

在 II, III 分界面上入射角  $i'$

$$\operatorname{tg} i' = \operatorname{tg} \gamma = \operatorname{tg} 41.56^\circ = 0.8866 \neq \frac{n_3}{n_2} = \frac{1}{1.50} = 0.6666 \quad (3 \text{ 分})$$

不满足布儒斯特定律, 故媒质 II, III 界面上的反射光不是线偏振光。

(1 分)

3. 图中, 非偏振光 (自然光) 入射相继通过三个偏振片, 偏振片的偏振化方向与  $y$  轴所成角度分别为  $\theta_1 = 40^\circ$ ,  $\theta_2 = 20^\circ$ ,  $\theta_3 = 40^\circ$ , 求通过该系统后, 出射光光强与入射光光强的百分比?

解: 由偏振片起偏规律和偏振化方向关系有

非偏振光 (自然光) 通过偏振片 1 后光强为:

$$I_1 = \frac{I_0}{2} \quad (2 \text{ 分})$$

强度为  $I_1$  线偏振光通过偏振片 2 后光强为: (马吕斯定律)

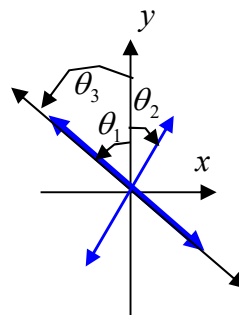
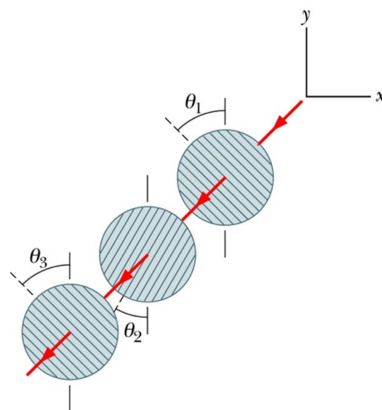
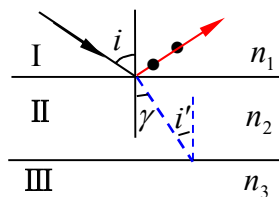
$$I_2 = I_1 \cos^2(\theta_1 + \theta_2) = \frac{I_0}{2} \cos^2(\theta_1 + \theta_2) \quad (3 \text{ 分})$$

强度为  $I_2$  线偏振光通过偏振片 3 后光强为:

$$\begin{aligned} I_3 &= I_2 \cos^2(\theta_2 + \theta_3) = \frac{I_0}{2} \cos^2(\theta_1 + \theta_2) \cos^2(\theta_2 + \theta_3) \\ &= \frac{I_0}{2} \cos^2(40^\circ + 20^\circ) \cos^2(20^\circ + 40^\circ) \\ &= \frac{I_0}{32} \end{aligned} \quad (4 \text{ 分})$$

故通过该系统后, 出射光光强与入射光光强的百分比为

$$\frac{I_3}{I_0} = \frac{1}{32} \cong 3.13\% \quad (1 \text{ 分})$$



## 五、问答题 (10 分)

1. 请指出一种测量不透明介质折射率的方法, 并简明叙述测量原理和步骤。

**答：**布儒斯特定律可以应用于测量不透明介质的折射率。

(2 分)

原理如下：

将不透明介质加工出一个光学平面，将一束自然光从空气入射于此表面上。

用一检偏器检测反射光是否是线偏振光，不断改变入射角，直至反射光是线偏振光为止，测

出此时的入射角  $i_0$ ，由布儒斯特定律知  $\tan i_0 = \frac{n_2}{n_1}$ ，已知  $n_1 = 1$ ，此  $n_2$  就是不透明介质的

折射率。

(8 分)