

第十五次 波动光学 3-习题解析与知识点拓展

本章内容较为简单，考试时多以概念以及基本计算(多次组合的马吕斯定律，布儒斯特角)考查。因而本次作业较多题目解析从略，涉及教材中的大篇幅计算以及图解的内容不再引入，读者自行查阅即可。

一、单选题

1.一束自然光垂直入射到两块堆叠在一起的偏振片上，没有光线通过。当其中一偏振片慢慢转动 180° 时，透射光强度发生的变化为

- 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

[B]

【解析】本题考查马吕斯定律的应用。

开始没有光通过说明此时偏振片的偏振化方向相互垂直。根据 \cos 平方的性质， α 从 90° 开始转动 180° 时，当角度重新变为 0° 时光线最强，再转过 90° 的时候又重新变为无光线通过。

2. 下列说法中错误的是

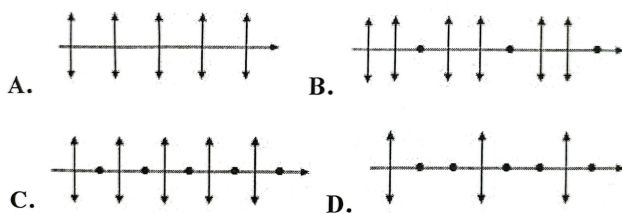
- A. 部分偏振光在垂直于光传播方向的平面内，光振动沿任意方向都有分布
- B. 部分偏振光垂直照射到偏振片上，旋转偏振片透射光的光强不断变化，但不会发生消光现象
- C. 部分偏振光可以分解为两个相互正交的、无相位关系的线偏振光的叠加
- D. 部分偏振光通过偏振片前后强度不变

[D]

【解析】本题考查部分偏振光的光学性质。

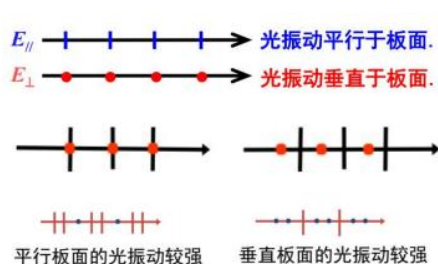
根据基本概念可以判断 ABC 表述合理，D 中通过偏振片后光强会变化。

3. 下图所示的各偏振态中，偏振度（自然光的偏振度为零，线偏振光的偏振度为 1）最小的是



[C]

【解析】本题考查偏振光的图示以及识别。



根据题目中括号内的表达，不难分析出偏振度表示偏振态中不同偏振态的比例分配大小。自然光各个方向的偏振态均匀，偏振度为 0；线偏振光只有一个偏振态，偏振度为 1。

因此本题中，A 偏振度最大，BD 表示两种类似的情形；C 选项两个偏振态分配最均匀，偏振度最小。

4. 一束平行光垂直入射到一偏振片上, 旋转偏振片发现, 出射光强随偏振片转动有变化但没有消光, 则下列判断中正确的是

A. 入射光一定是部分偏振光 B. 入射光一定是椭圆偏振光

C. 入射光不可能是圆偏振光 D. 入射光可能是线偏振光

[C]

【解析】 本题考查偏振光分类以及如何根据各自性质区分不同的偏振态。判断方法如下:

Step 1: 通过旋转偏振片的现象可以初步分清: ①线偏振光、②圆偏振光和自然光、③部分偏振光和椭圆偏振光这三大类。其中①→有消光现象; ②→是强度没有变化; ③→强度有变化但消光现象。

Step 2: 让②③分别依次通过 $\lambda/4$ 片和偏振片, 改变这一偏振片的透振方向, 观察有无消光现象。若有消光现象, 为圆偏振光或者椭圆偏振光; 若无消光现象, 为自然光或者部分偏振光。

Step 3: 为了进一步区分, 将 $\lambda/4$ 片的光轴方向与 Step 1 中产生强度极大或强度极小的方向重合, 重新完成 Step 2, 此时若有消光现象, 为椭圆偏振光; 若无消光现象, 为部分偏振光。

本题中, 旋转偏振片有变化但没有消光, 则是部分偏振光或椭圆偏振光, 一定不是圆偏振光, 选 C。

5. 如图, 在杨氏双缝实验中采用单色自然光, 在屏上形成干涉

条纹。现在双缝与光屏之间紧贴双缝放一理想偏振片, 若不计算在偏振片上的反射和吸收, 则光屏上

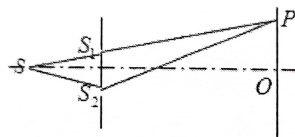
A. 仍有干涉条纹, 且明纹的亮度为原来的一半

B. 仍有干涉条纹, 且明纹的亮度为原来的四分之一

C. 仍有干涉条纹, 且明纹的亮度为原来的两倍

D. 不再出现干涉条纹

[A]



【解析】 本题考查杨氏双缝干涉的变式。

在双缝后紧贴放置偏振片, 自然光通过其之后变成偏振光, 光强减半, 则明纹亮度减半。

单色自然光通过偏振片之后仍有稳定的相位关系, 而且波长不改变, 相位差不变, 因此仍有干涉条纹而且条纹间距不改变。

【变式练习】

本题图所示为杨氏干涉装置, 其中 S 为单色自然光源, S_1 和 S_2 为双孔。

(1) 如果在 S 后放置一偏振片 P, 干涉条纹是否发生变化? 有何变化?

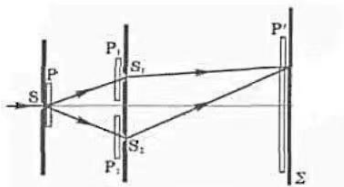
(2) 如果在 S_1 、 S_2 之前再各放

置一偏振片 P_1 、 P_2 , 它们的透振方向相互垂直, 并都与 P 的透振方向成 45° 角, 幕 Σ 上的强度分布如何?

(3) 在 Σ 前再放置一偏振片 P' , 其透振方向与 P 平行, 试比较这种情形下观察到的干涉条纹与 P_1 、 P_2 、 P' 都不存在时的干涉条纹有何不同?

(4) 同(3), 如果将 P 旋转 90° , 幕上干涉条纹有何变化?

(5) 同(3), 如果将 P 撤去, 幕上是否有干涉条纹?



答：(1) 如果在 S 后放置一偏振片 P，幕 Σ 上干涉图样强度普遍减小一半。

(2) 如果在偏振片 P_1 、 P_2 ，它们的透振方向相互垂直，幕 Σ 上没有干涉条纹。

(3) 在 Σ 前再放置一透振方向与 P 平行的偏振片 P' ，干涉条纹复出。强度是 P_1 、 P_2 、 P' 都不存在时的 $1/4$ 。

(4) 如果将 P 旋转 90° ，幕上干涉条纹与 (3) 一样。

(5) 如果将 P 撤去，通过偏振片 P_1 、 P_2 的光没有稳定的相位关系，幕上干涉条纹消失。

6. 自然光入射到两种介质界面上，关于界面上的反射光，以下说法中错误的是

- A. 一般是部分偏振光 B. 一定是线偏振光
C. 可能是线偏振光 D. 反射光的偏振态与入射角有关

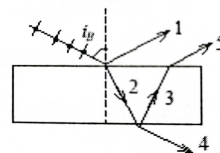
[B]

[解析] 本题考查反射中的偏振态。

由于详细的相位传播计算不需掌握，则我们只需要记住关键概念规律即可。反射和折射光的偏振态取决于运用菲涅尔折反射公式的详细计算。当入射角为布儒斯特角时，无论入射光的偏振态如何，反射光都是平面/线偏振光(而且只有与入射面垂直的 S 分量)，折射光为部分偏振光。

因此 D 正确，对于非布儒斯特角入射，AC 正确，B 错误，因此选择 D。

7. 如图所示，一束自然光自空气射向一块平板玻璃，设入射角等于布儒斯特角，则光线 3



- 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

[B]

[解析] 本题考查反射中的偏振态，见 6 题解析。注意：上表面是布儒斯特角时，下表面依然是布儒斯特角，反射光仍然是只有垂直入射面的线偏振光。

8. 关于双折射晶体中 o 光和 e 光的波阵面，以下说法中正确的是

- A. o 光和 e 光的波阵面都是球面
B. o 光和 e 光的波阵面都是旋转椭球面
C. o 光的波阵面是球面，e 光的波阵面是旋转椭球面
D. o 光的波阵面是旋转椭球面，e 光的波阵面是球面

[C]

[解析] 本题考查双折射的基本概念，翻阅教材即可得到答案。

9. 下列说法中正确的是

- A. 圆偏振光通过偏振片后仍为圆偏振光，光强减小原来一半

B.圆偏振光通过偏振片后仍为圆偏振光, 光强不变

C.圆偏振光通过偏振片后变为线偏振光, 光强减小原来一半

D.圆偏振光通过偏振片后变为线偏振光, 光强不变

[C]

[解析]本题考查圆偏振光的光学性质。

10.一束自然光经过 $1/4$ 波片后, 出射光

A. 仍为自然光 B. 为线偏振光

C. 为圆偏振光 D. 为椭圆偏振光

[A]

[解析]本题考查波片对自然光的作用, 阅读教材记住概念规律即可。

二、填空题

11. 当自然光照射在偏振片上时, 只有某一特定方向的光振动能够通过, 这个方向称为__起偏方向__。使自然光成为线偏振光的装置称为__起偏器__。用来检验一束光是否为线偏振光的装置称为__检偏器__。

[解析]本题考查基本概念, 翻阅教材即可得到答案。

12. 一束线偏振光自空气射向一块平板玻璃, 入射角等于布儒斯特角, 若光在界面全部透射(没有反射), 则入射光光矢量的振动方向为__平行于入射面__。

[解析]本题考查界反射面的偏振。

根据正常情况下反射光为垂直入射面的方向可知, 在全部透射的情形, 入射光没有垂直的分量。

13. 振幅为 A 的线偏振光, 垂直入射到一理想偏振片上。若偏振片的偏振化方向与入射偏振光的振动方向的夹角为 45° , 则透过偏振片的光振幅 $\frac{\sqrt{2}}{2}A$ 。

[解析]本题考查马吕斯定律计算。 $I_1 = I \cos^2 45^\circ$ $I = A^2$ $A_1 = \frac{\sqrt{2}}{2}A$

14. 光强为 I_0 的自然光垂直通过两块叠在一起的偏振片后, 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__ 60° __。

[解析]本题考查马吕斯定律计算。 $I' = \frac{1}{2}I_0$ $I = \cos^2 \alpha I' = \frac{1}{8}I_0$ $\cos^2 \alpha = \frac{1}{4}$ $\alpha = 60^\circ$

14. 一束自然光以布儒斯特角入射到平板玻璃片上, 就偏振状态来说则反射光为__线偏振光__, 反射光 \vec{E} 矢量的振动方向__与入射面垂直__, 透射光为__部分偏振光__。

[解析]本题考查界反射面的偏振, 见第 6 题解析。

16. 自然光以布儒斯特角 i_B 从第一种介质(折射率为 n_1) 入射到第二种介质(折射率为 n_2) 内, 则 $i_B = \arctan \frac{n_2}{n_1}$ 。

[解析]本题考查布儒斯特定律。

17. 一束光强为 I 的圆偏振光垂直照射到一偏振片上, 出射光的光强为 $\frac{1}{2}I$

[解析] 本题考查圆偏振光的性质，与自然光相同，经过偏振片光强减半。

18. 光在双折射晶体内沿光轴方向传播时，o光和e光的传播速度相等。

[解析] 本题考查双折射的基本概念，翻阅教材即可得到答案。

19. 波长为 600nm 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。已知该材料的主折射率为 1.74 和 1.71，则此波片的最小厚度为 $5 \times 10^{-6} m$ 。

[解析] 本题考查双折射的简单计算。 $\Delta\delta = |n_o - n_e| \quad d_{\min} = \frac{1}{4}\lambda \quad d_{\min} = 5 \times 10^{-6} m$

20. 简述一种右旋椭圆偏振光变成左旋椭圆偏振光的方法：在光路中加入二分之一波片。

[解析] 本题考查偏振态的改变方法，了解即可，不做重点内容。

三、计算题

21. 透过偏振片观察一束部分偏振光。当偏振片由对应透射光强最大的位置转过 60° 时，其光强减为一半。若将入射的部分偏振光看成是由自然光和线偏振光混合而成的，则这束部分偏振光中自然光和线偏振光的光强之比是多少？

[解析] 本题考查马吕斯定律计算。

解：不妨设部分偏振光之中自然光光强为 I_1 ，线偏振光光强为 I_2 ，则有

$$\text{出射光的最大光强为 } I_{\max} = \frac{1}{2}I_1 + I_2;$$

$$\text{转过 } 60^\circ \text{ 之后光强为 } I_t = \frac{1}{2}I_1 + I_2 \cos^2 60^\circ = \frac{1}{2}I_1 + \frac{1}{4}I_2;$$

$$\text{依据题设: } \frac{\frac{1}{2}I_1 + I_2}{\frac{1}{2}I_1 + \frac{1}{4}I_2} = 2;$$

$$\text{解得: } I_1 : I_2 = 1 : 1;$$

22. 有三个偏振片叠在一起，已知第一个与第三个的偏振化方向相互垂直。一束光强为 I_0 的自然光垂直入射在偏振片上，求第二个偏振片与第一个偏振片的偏振化方向之间的夹角为多大时，该入射光连续通过三个偏振片之后的光强为最大。

[解析] 本题考查马吕斯定律计算。

解：不妨设第二偏振片与第一个偏振片之间的夹角为 α ，则：显然，当 $\alpha = \frac{k\pi}{2} + \frac{\pi}{4}$, k 为整数时，
连续通过三个偏振片的光强为：
$$I_s = \frac{1}{2}I_0 \cos^2 \alpha \cos^2 (90 - \alpha) \quad \sin 2\alpha = 1 \text{ 此时光强 } I_s \text{ 取得最大值}$$
$$= \frac{1}{2}I_0 \cos^2 \alpha \sin^2 (\alpha)$$
$$= \frac{1}{8}I_0 \sin^2 (2\alpha)$$

23. 强度为 I_0 的一束光，垂直入射到两个叠在一起的偏振片上，这两个偏振片的偏振化方向之间的夹角为 60° ，若这束入射光是强度相等的线偏振光和自然光混合而成的，且线偏振光的光矢量振动方向与此二偏振片的偏振化方向皆成 30° 角，求透过每个偏振片后的光束强度。

[解析] 本题考查马吕斯定律计算。

解：依据题意：偏振前线偏振光强度为 $I_1 = \frac{1}{2}I_0$ ，自然光强度为 $I_2 = \frac{1}{2}I_0$

则经过第一个偏振片之后： $I_1' = I_1 \cos^2 30^\circ = \frac{3}{8}I_0$;

$$I_2' = \frac{1}{2}I_1 = \frac{1}{4}I_0;$$

同理：再经过第二个偏振片有： $I_1'' = I_1' \cos^2 60^\circ = \frac{3}{32}I_0$;

$$I_2'' = I_1 \cos^2 60^\circ = \frac{1}{16}I_0;$$

$$\text{合光强为 } I_s = I_1'' + I_2'' = \frac{5}{32}I_0;$$

24. 一厚度为 $10 \mu\text{m}$ 的方解石晶片，其光轴平行于表面，放置在两正交偏振片之间，晶片的光轴与第一偏振片的偏振化方向夹角为 45° ，若要使波长 600nm 的光通过上述系统后呈现极大，晶片的厚度至少需磨去多少？已知方解石晶体的主折射率为 $n_o = 1.658, n_e = 1.486$ （计算结果保留三位有效数字）

[解析] 本题考查双折射的计算，不作为考试重点。

解：不妨设出射第二偏振片时，两束相干光的振幅分别为 A_{2e}, A_{2o} ，于是

$$A_{2e} = A_0 \sin 45^\circ \times \cos 135^\circ = -\frac{1}{2}A_0;$$

$$A_{2o} = A_0 \cos 45^\circ \times \sin 135^\circ = \frac{1}{2}A_0;$$

于是两束光存在附加相位差为 π

故不妨设方解晶片厚度为 d ，则有相位差

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} |n_o - n_e| d + \pi = 1.8 \times 10^6 d + \pi = 2k\pi (\text{干涉加强条件})$$

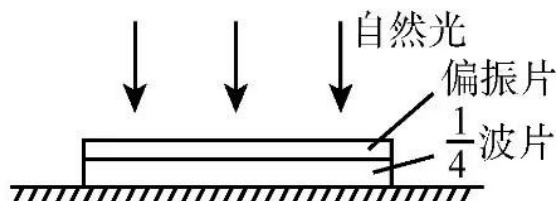
$$\text{所以 } d = 1.744(2k - 1)\mu\text{m} < 10\mu\text{m};$$

$$\text{所以 } k \text{ 最大能取到 } 3, \text{ 此时 } d = 8.72\mu\text{m};$$

$$\text{于是晶片最小应该削去 } (10 - 8.72)\mu\text{m} = 1.28\mu\text{m}$$

【附加题】

如下图所示,在平面反射镜上相继地放置一个 $1/4$ 波片和一个偏振片,偏振片的透光轴与 $1/4$ 波片的光轴夹角为 θ ,光强为 I_0 的自然光垂直入射.试求反射光经上述偏振系统后的光强.



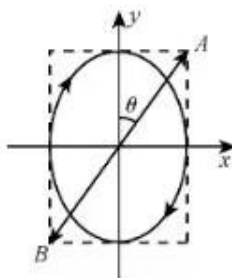
相关参数

$$\theta = 9.64 \times 10^{-1} \text{ rad}$$

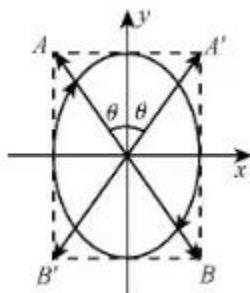
$$I_0 = 6.22 \times 10^1 \text{ cd}$$

| 解答

迎着入射光看如下图所示.自然光经偏振片后变成线偏振光,振动方向为 AB .经 $1/4$ 波片后变成椭圆偏振光.若 y 轴为 $1/4$ 波片的快轴方向,则为右旋椭圆偏振光, y 分量比 x 分量相位超前 $\pi/2$.



迎着反射光看如下图所示.入射到平面反射镜的右旋椭圆偏振光反射后变成左旋椭圆偏振光, x 分量比 y 分量相位超前 $\pi/2$.该左旋椭圆偏振光经 $1/4$ 波片后, y 分量比 x 分量相位超前 $\pi/2$,故 x 分量和 y 分量的总相位差为零,合成为线偏振光,振动方向为 $A'B'$,与偏振片的透光轴 AB 成 2θ 角.由马吕定律,反射光经偏振系统后的光强为 $(I_0 \cos^2 2\theta) / 2$.



当 $\theta = 45^\circ$ 时,反射光经偏振系统后的光强为零,即从平面镜反射的光不能通过该偏振系统.实用的所谓隔离器就是利用这一原理制成的.在使用线偏振的激光器时,为了避免外界反射光重新进入谐振腔而引起干扰,常在激光器的输出端放置一个 $1/4$ 波片,波片的光轴与线偏振方向夹 45° 角,这样,所产生的椭圆偏振激光经外界反射面反射后不能重新进入谐振腔.