

第 46 讲 反射和折射时光的偏振 习题课

教学要求:

了解双折射现象、寻常光和非常光、光轴、主平面；理解获得反射和折射时的线偏振光，布儒斯特角、布儒斯特定律。

重点与难点:

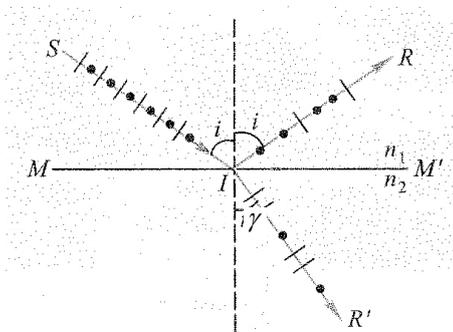
重点：布儒斯特角、布儒斯特定律。

难点：双折射现象、寻常光和非常光。

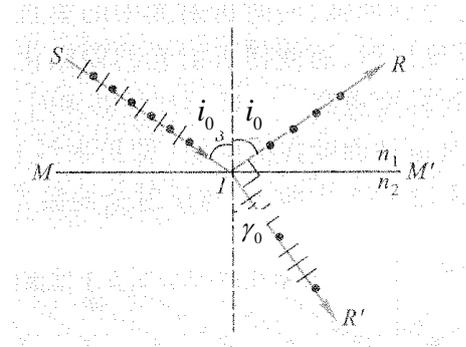
16.3 反射和折射时光的偏振

自然光入射到两种各向同性的介质分界面上反射和折射时，反射光和折射光都是部分偏振光，在一定条件下，反射光有可能成为完全偏振光，即线偏振光。

如图 16-10 所示， MM' 是两种介质分界面， SI 是一束自然光的入射线， i 为入射角， γ 为折射角。我们可以把自然光分解为两个相互垂直的光振动，一个与入射面平行（图中用短线表示），称为平行振动，另一个与入射面垂直（图中用墨点表示），称为垂直振动。实验发现，反射光束中垂直振动多于平行振动，而在折射光束中，平行振动多于垂直振动。如图 16-10(a) 所示，即反射光和折射光都是部分偏振光。



(a) 自然光经反射和折射后产生部分偏振光



(b) 入射角为布儒斯特角时，反射光为完全偏振光

图 16-10 自然光在介质界面的反射光、折射光偏振特性

理论和实验都证明，反射光和折射光的强度以及偏振化的程度都与入射角的大小有关，当入射角 i 等于某一特定值 i_0 时，且满足

$$\tan i_0 = \frac{n_2}{n_1} \quad (16-2)$$

时，反射光是振动方向垂直于入射面（垂直振动）的完全偏振光；而折射光仍为部分偏振光，

但这时折射光的偏振化程度最强,如图 16-10(b)所示,式(16-2)称为布儒斯特定律。 i_0 称为起偏振角或布儒斯特角,式中 n_1 , n_2 为界面上、下介质的折射率。

由折射定律
$$\frac{\sin i_0}{\sin \gamma_0} = \frac{n_2}{n_1}$$

从式(16-2)得
$$\frac{\sin i_0}{\cos i_0} = \frac{n_2}{n_1}$$

结合上两式得
$$\sin \gamma_0 = \cos i_0 = \sin\left(\frac{\pi}{2} - i_0\right)$$

即
$$i_0 + \gamma_0 = \frac{\pi}{2}$$

这说明当光线以起偏振角入射时,反射光和折射光的传播方向互相垂直,如图 16-10(b)所示。

布儒斯特定律有很多实际的用途.例如,可用布儒斯特定律测量非透明介质的折射率.将自然光由空气中射向这种介质表面,测出起偏振角 i_0 的大小,即可由 $\tan i_0 = \frac{n_2}{n_1}$ 计算出该

物质的折射率。又如,在外腔式激光器中,把激光管的封口做成倾斜的,使激光以布儒斯特角入射,可以使光振动平行入射面的线偏振光不反射而完全通过,从而将激光的能量损耗减低到最小程度。

对于一般的光学玻璃,反射光的强度约为入射光强度的 15%,大部分光能将透过玻璃。因此仅靠自然光在单块玻璃上的反射来获得偏振光,其强度是比较弱的。但将一些玻璃叠成玻璃片堆(图 16-11)并使 $i = i_0$ 。由于在各个界面上的反射光,都是光振动垂直于入射

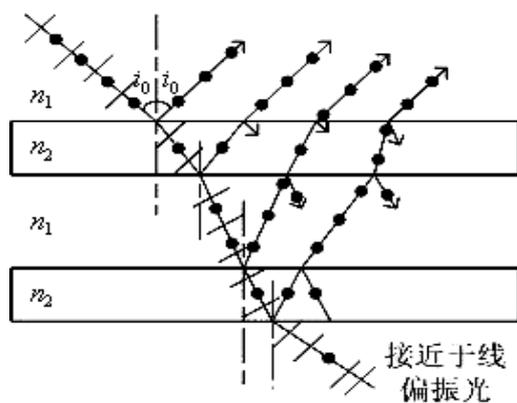


图 16-11 利用玻璃片堆产生完全偏振光

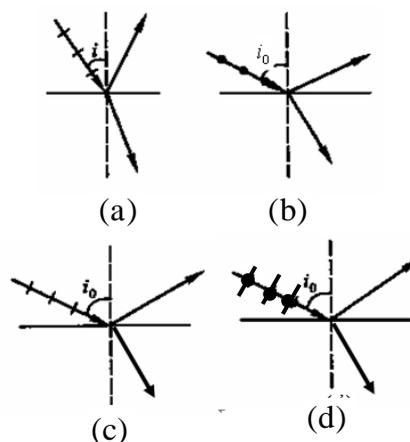


图 16-12 问题 16-6 图

面的偏振光，所以经过多层玻璃面上的反射和折射，使得垂直于入射面的振动成分获得加强，而使得折射光的偏振化程度不断增强。如果玻璃体数目足够多，则最后折射光就接近于线偏振光，且偏振化方向平行于入射面。

例 16-4 某一物质对空气的全反射临界角为 45° ，光从该质向空气入射。求 $i_0 = ?$

解 设 n_1 为该物质折射率， n_2 为空气折射率，由全反射时折射定律得

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin 45^\circ}{\sin 90^\circ} = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

由布儒斯特定律： $\tan i_0 = \frac{n_2}{n_1}$ 得 $i_0 = 35.3^\circ$

例 16-5 利用布儒斯特定律可以测定不透明介质（如珞琅等釉质）的折射率，当一束平行自然光从空气中以 58° 入射到某介质材料表面时，检验出反射光是线偏振光，求该介质的折射率。

解 根据布儒斯特定律 $\tan i_0 = \frac{n_2}{n_1}$

所以
$$n_2 = n_1 \tan i_0 = \tan 58^\circ = 1.60$$

例 16-6 如图 16-13 所示为一玻璃三棱镜，材料的折射率为 $n=1.50$ ，设光在棱镜中传播时能量不被吸收。问：(1) 一束光强为 I_0 的单色光，从空气入射到棱镜左侧界面折射进入棱镜。若要求入射光全部能进入棱镜，对入射光和入射角有何要求？(2) 若要求光束经棱镜从右侧折射出来，强度仍保持不变，则对棱镜顶角有何要求？

解 (1) 要求入射光是振动方向平行于入射面的线偏振光。入射角 i_{01} 为

$$i_{01} = \arctan n = \arctan 1.50 = 56.3^\circ$$

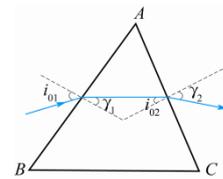


图 16-13 例 16-6 图

(2) 投射到界面 AC 的起偏振角 i_{02} 为
$$i_{02} = \arctan \frac{1}{n} = \arctan \frac{1}{1.5} = 33.7^\circ$$

因为 $i_{01} + \gamma_1 = \frac{\pi}{2}$ ， $i_{02} + \gamma_2 = \frac{\pi}{2}$ ，从图上的几何关系可以看出

$$A = \gamma_1 + i_{02} = \frac{\pi}{2} - i_{01} + i_{02} = 90^\circ - 56.3^\circ + 33.7^\circ = 67.4^\circ$$

*16.4 散射光的偏振

在眼前放一块偏振片向天空望去，当转动偏振片时，可观察到透过它的“天光”有明暗的变化。这说明“天光”是部分偏振光，这种部分偏振光是大气中的微粒或分子对太阳光散射的结果。

一束光射到一个微粒或分子上，就会使其中的电子在光束内的电场矢量的作用下振动。此类振动中的电子会向其周围四面八方发射同频率的电磁波，即光。这种现象叫做光的散射。正是由于这种散射才使我们从侧面能看到有灰尘的室内的太阳光束或大型歌舞晚会上的彩色激光射线。

分子中的一个电子振动时发出的光是偏振的，它的光振动方向总是垂直于光的传播方向（横波），并和电子的振动方向在同一个平面内。但是，往各方向发出的光强度不同：在垂直于电子振动的方向，强度最大；在沿电子振动的方向，强度为零。图 16-14 表示了这种情形，

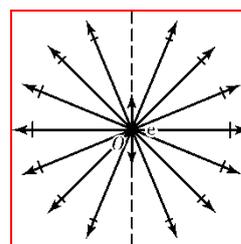


图 16-14 振动的电子发出的光的
振幅和偏振方向示意图

0 处有一电子沿竖直方向振动，它发出的球面波向四周传播，各条光线上的短线表示该方向上光振动的方向，短线的长短大致表示该方向上光振动的振幅。

按照电磁理论，每个散射光波的振幅是与它的频率的平方成正比，而其光强又和它的振幅的平方成正比，所以散射光的强度和光的频率的四次方成正比。由于蓝光的频率比红光高，所以太阳光中的蓝色光成分比红色光成分散射强度更大些。因此，天空看起来是蓝色的。在早晨或傍晚，太阳光沿地平线射来，在大气层中传播的距离较长，其中的蓝色光成分大都散射掉了，余下的进入人眼的光线主要是频率较低的红色光了，这就是朝阳或夕阳看起来发红的原因。

*16.5 由双折射引起的光的偏振

当一束光在两种各向同性介质（如：玻璃、水等）的分界面上折射时，折射光只有一束，并且满足光的折射定律，这是人们所熟知的。然而，当一束光射入各向异性的介质（如方解

石晶体、其化学成分为碳酸钙 CaCO_3) 中, 折射光为两束, 此现象称为**双折射现象**。

实验表明, 当改变入射角 i 时, 两束折射光之一恒满足折射定律, 这束光称为**寻常光**, 简称**O光**。另一束光线不遵从折射定律, 即当入射角 i 改变时, 不仅 $\frac{\sin i}{\sin \gamma}$ 不是一个常数, 且传播方向不一定落在入射面内, 这束光线称为**非常光**, 简称**e光**。如图 16-15 (a) 所示, 当光线垂直入射, 即 $i=0$ 时, O光沿原方向继续前进, 而 e光一般也不沿入射光方向前进, 如 16-15 (b) 所示。这时如果以入射光为轴旋转晶体, 将发现 O光不动, 而 e光旋转起来。O光和 e光都是线偏振光。

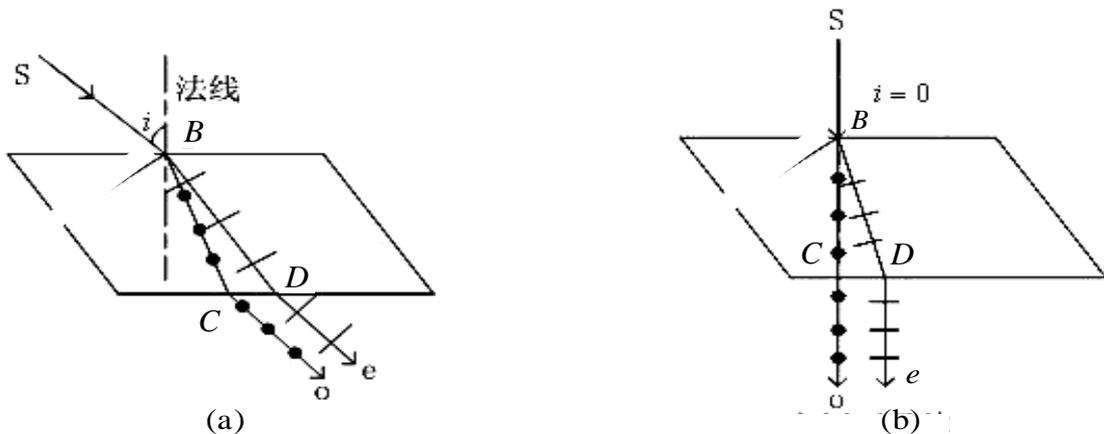


图 16-15 双折射现象

产生双折射的原因: O光和 e光在晶体中传播速度不同, O光在晶体中各个方向的传播速度相等, 而 e光传播速度却随方向而变化。即在各向异性晶体中每一方向都有两个光速, 一是O光速度, 另一是 e光速度。

注意 1. O光和 e光只有在双折射晶体的内部才有意义, 一旦从晶体射出, 两者速度仍然相等。

2. O光和 e光都是线偏振光, 即两者的振动方向不同, 如果设法移去其中一束或将两束分得很开, 则得到了线偏振光。

习题课

第 16 章 光的偏振

课程内容

- 16.1 自然光和偏振光
- 16.2 起偏和检偏 马吕斯定律
- 16.3 反射与折射时光的偏振

16.4 散射光的偏振

16.5 由双折射引起光的偏振

教学要求:

了解双折射现象、寻常光和非常光、光轴、主平面；偏振光的干涉。

理解起偏器的起偏和检偏的作用；布儒斯特角、布儒斯特定律；理解获得反射和折射时的线偏振光。

掌握自然光、线偏振光和部分偏振光；起偏器、透振方向、马吕斯定律。

重点与难点:

重点: 线偏振光和部分偏振光；透振方向、马吕斯定律。

难点: 双折射现象、寻常光和非常光。

16.1 自然光和偏振光

16.1.1 横波的偏振性

16.1.2 自然光

16.1.3 线偏振光

在光学实验中,如果采用某种方法,把自然光中两个互相垂直的独立光振动分量中的一个完全消除或移走,只剩下另一个方向的光振动,那么就获得了**线偏振光**(或**完全偏振光**)。因为线偏振光的光矢量与传播方向构成的平面(**振动面**)在空间的方位是不变的,于是线偏振光又称为**平面偏振光**。图 16-3 (a)给出了线偏振光的表示法,图中短线表示线偏振光的光振动在纸面内,点子表示线偏振光的光振动垂直于纸面。



图 16-3 线偏振光和部分偏振光

因为不可能把一个原子所发射的光波分离出来,所以我们在实验中获得的线偏振光,是包含众多原子的光波中振动方向都已相互平行的成分。

16.1.4 部分偏振光

16.1.5 线偏振光的获得

通常由自然光获得线偏振光, 其方法主要有三种:

1. 由二向色性物质的选择吸收产生线偏振光;
2. 由反射和折射产生线偏振光;
3. 由晶体的双折射产生线偏振光。

16.2 起偏和检偏 马吕斯定律

16.2.1 偏振片的起偏和检偏

16.2.2 马吕斯定律

1809 年马吕斯在研究线偏振光通过检偏器后的透射光光强时发现: 如果强度为 I_1 的线偏振光入射, 通过检偏器后, 出射光的强度 I_2 为

$$I_2 = I_1 \cos^2 \alpha \quad (16-1)$$

式中 α 为检偏器的偏振化方向与入射线偏振光光矢量之间的夹角, 上式称为马吕斯定律。

16.3 反射和折射时光的偏振

满足

$$\tan i_0 = \frac{n_2}{n_1} \quad (16-2)$$

时, 反射光是振动方向垂直于入射面(垂直振动)的完全偏振光; 而折射光仍为部分偏振光, 但这时折射光的偏振化程度最强, 式(16-2)称为布儒斯特定律。 i_0 称为起偏振角或布儒斯特角, 式中 n_1 , n_2 为界面上、下介质的折射率。

当光线以起偏振角入射时, 反射光和折射光的传播方向互相垂直。

*16.4 散射光的偏振

*16.5 由双折射引起的光的偏振

例 1 填空题

(1) 马吕斯定律的数学表达式为 $I = I_0 \cos^2 \alpha$. 式中 I 为通过检偏器的透射光的强度; I_0 为入射_____的强度; α 为入射光_____方向和检偏器_____方向之间的夹角。

[答案: 线偏振光(或完全偏振光, 或平面偏振光), 光(矢量)振动, 偏振化(或透光轴);]

(2) 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。

[答案: 完全偏振光 (或线偏振光), 垂直;]

(3) 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° 时, 反射光是完全偏振光, 则此玻璃板的折射率等于_____。

[答案: $\sqrt{3}$]

(4) 光的干涉和衍射现象反映了光的_____性质. 光的偏振现象说明光波是_____波。

[答案: 波动, 横波;]

例 2 选择题

(1) 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° 角, 则穿过两个偏振片后的光强 I 为[B]

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

(2) 自然光以布儒斯特角由空气入射到一玻璃表面上, 反射光是[C]

- (A) 在入射面内振动的完全线偏振光.
- (B) 平行于入射面的振动占优势的部分偏振光.
- (C) 垂直于入射面振动的完全线偏振光.
- (D) 垂直于入射面的振动占优势的部分偏振光.

(3) 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, 且明纹的亮度减弱.
- (D) 无干涉条纹.

例 3 投射到起偏器的自然光强度为 I_0 , 开始时, 起偏器和检偏器的透光轴方向平行. 然后使检偏器绕入射光的传播方向转过 30° , 45° , 60° , 试分别求出在上述三种情况下, 透过检偏器后光的强度是 I_0 的几倍?

解: 由马吕斯定律有

$$I_1 = \frac{I_0}{2} \cos^2 30^\circ = \frac{3}{8} I_0$$

$$I_2 = \frac{I_0}{2} \cos^2 45^\circ = \frac{1}{4} I_0$$

$$I_3 = \frac{I_0}{2} \cos^2 60^\circ = \frac{1}{8} I_0$$

所以透过检偏器后光的强度分别是 I_0 的 $\frac{3}{8}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$ 倍.

作业：1、2、8