

第 11 章 光的偏振

艳阳高照时，为什么偏光镜可以滤除路面或水面的漫反射光？我们欣赏立体电影时，为什么要佩戴一副特殊的眼镜？液晶屏幕无处不在，手机、电脑、电视……，液晶屏幕是如何成像的呢？这些都与光的偏振特性密切相关。本章将介绍光的偏振的现象、原理及其应用。

11.1 偏振光和自然光

11.1.1 线偏振光

光的干涉和衍射现象说明了光的波动性，那么光是横波还是纵波呢？光的偏振现象说明了光的横波性。

光的电磁理论指出，光是电磁波，电场强度矢量 \vec{E} 和磁场振动方向与波的传播方向垂直，并且它们之间也相互垂直，如图 11-1。实验指出，感光作用、生理作用等大多数光学现象都是由电场强度矢量 \vec{E} 引起的。所以，通常我们以电场强度的方向表示光波的振动方向，将电场强度矢量 \vec{E} 称为光矢量。

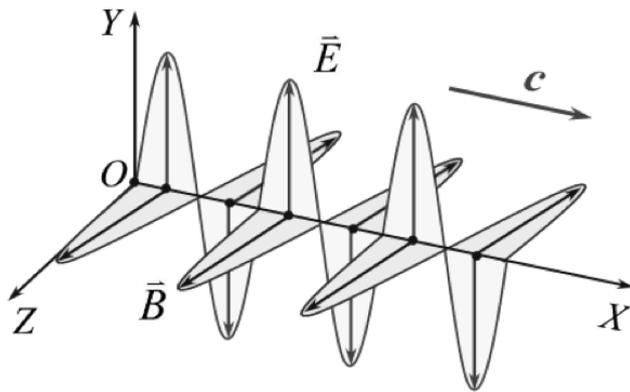


图 11-1

光矢量 \vec{E} 与光的传播方向垂直，但是在垂直于光的传播方向平面内，光矢量 \vec{E} 还可能

有各种不同的振动状态。如果光矢量始终沿某一方向振动，这样的光就称为**线偏振光**。如图 11-1 所示，沿着光的传播方向看，光矢量端点的轨迹就是一条直线。我们把光的振动方向和传播方向组成的平面称为振动面。由于线偏振光的光矢量保持在固定的振动面内，所以线偏振光又称**平面偏振光**。光的振动方向在振动面内不具有对称性，这叫做偏振。显然，只有横波才有偏振现象，这是横波区别于纵波的一个最明显的标志。

线偏振光可用图 11-2 所示的方法表示。图中用短线和黑点分别表示在纸面内和垂直于纸面的光振动，箭头表示光的传播方向。



图 11-2

11.1.2 自然光

一个原子（或分子）每次发光所发出的波列都可以认为是线偏振光，它的光矢量具有一定的方向。但是，一般光源（比如太阳、LED 灯、日光灯管）发出的光是由大量原子的持续时间很短的波列组成，这些波列的振动方向和相位是无规则的、随机变化的。在观测时间内，在垂直于光传播方向的平面上看，光矢量有着、不同的振动状态，可看作是无数线偏振光的混合，这种光我们称为**自然光或非偏振光**。按照统计平均来看，无论哪个方向的振动都不比其他方向更占优势，即光矢量的振动在各方向上的分布是对称的，振幅也可看做完全相等（如图 11-3），它是非偏振的。所以我们可以沿任意两个相互垂直的方向，将自然光分解为两个相互独立的、等振幅的线偏振光，光强各自等于自然光光强的一半。自然光可用图 11-4 所示的方法表示，短线和黑点交替均匀画出，表示光振动对称且均匀分布。

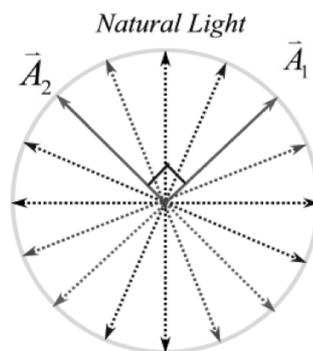


图 11-3



图 11-4

11.1.3 部分偏振光

在光学实验中,如果采用某种方法将自然光的两个相互垂直的独立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。如果只是部分地移走一个分量,使得另两个独立分量不相等,就获得**部分偏振光**。部分偏振光的表示方法如图 11-5 所示。部分偏振光可以看作完全偏振光和自然光的混合。



图 11-5

11.1.4 圆偏振光和椭圆偏振光

如果某光矢量在振动平面上的分振动相互间的相位差取一些特定值时,合成的光矢量的矢量箭头就可以画出如图 11-6 所示的各种轨迹,他们分别对应于特殊的**偏振光**——线偏振光、椭圆偏振光或圆偏振光。圆偏振光和椭圆偏振光可以看成是两个振动相互垂直、相位差为 $\frac{\pi}{2}$ 的线偏振光的合成。振幅相等时为圆偏振光。

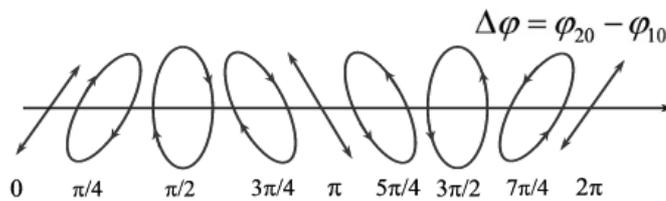


图 11-6

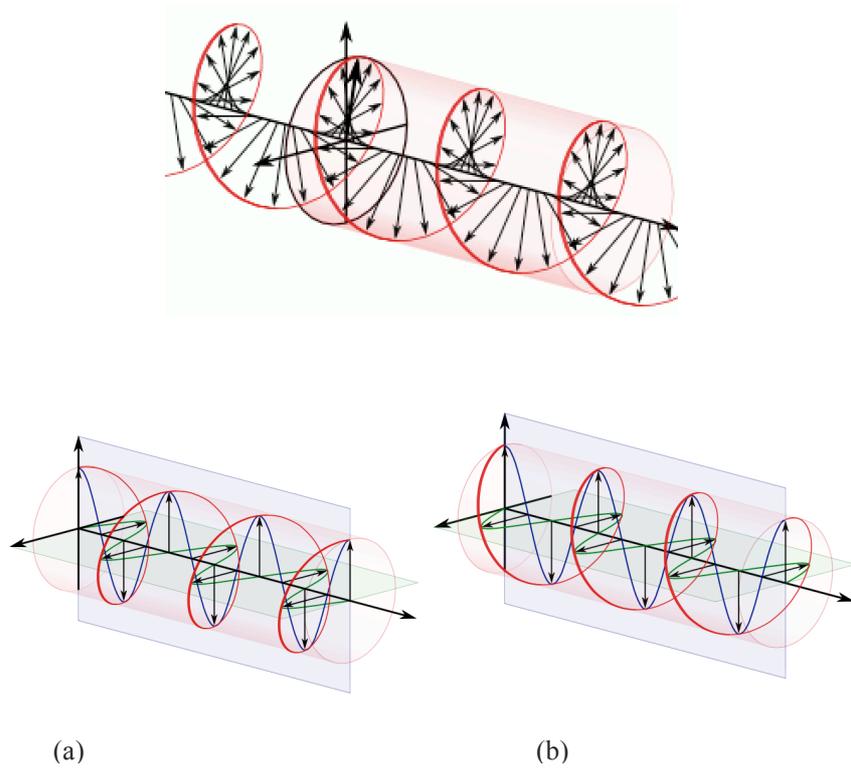


图 11-7(a)左旋圆偏振光, (b)右旋圆偏振光

光波以某个方向通过某些晶体时，不同偏振方向的光有不同的速度，则在这个方向上，不同偏振方向的光的折射率不一样，所以经过此类晶体的光程也不一样。当晶体的厚度为某一数值时，两种偏振方向的光的光程差为 $\frac{\pi}{2}$ 。当这两种光叠加后，光矢量就会绕传播方向旋转，形成圆偏振光。和自然光一样，圆偏振光的光矢量也分布在整个与光传播方向垂直的平面内，不同的是圆偏振光的光矢量在某一时刻只是在一个方向上。圆偏振光又分为左旋圆偏振光和右旋圆偏振光，如图 11-7 所示。

11.2 获得偏振光的方法

除激光器等特殊光源以外，普通光源发出的光通常都是自然光（非偏振光）。从自然光中获得偏振光是很容易的。下面介绍两种常用的获得偏振光的方法，一种是利用偏振片获得偏振光，另一种是利用介质分界面的反射和折射获得偏振光。

11.2.1 利用偏振片获得线偏振光

常用的偏振片是在透明的基片上蒸镀一层某种晶体物质（如硫酸金鸡钠碱、碘化硫酸奎宁等）制成的。这种物质仅对某一方向的光振动有强烈的吸收，而对与之垂直的光振动吸收很少，可以让其透过，如图 11-8 所示。物质的这种属性称为二向色性。因此，偏振片基本上只允许某一特定方向的光振动通过，从而获得线偏振光。我们把这个透光方向称为偏振片的偏振化方向或透振方向，也叫透光轴。

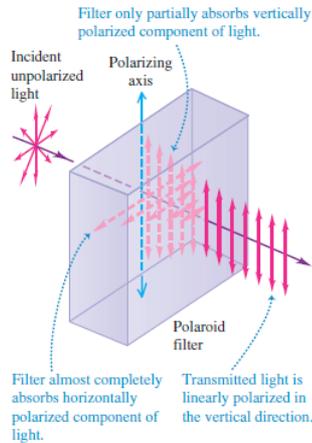


图 11-8

从自然光获得偏振光的过程称为**起偏**，产生起偏作用的光学元件称为**起偏器**。偏振片就是一种常用的起偏器。

人眼无法识别光振动的方向。为了辨别自然光和偏振光，需要借助装置来检测光波是否偏振，检验偏振光的过程称为**检偏**。这种检验光是否偏振的装置称为**检偏器**。偏振片同样可以作为检偏器。

如图 11-9 所示，当自然光垂直照射偏振片 P_1 后起偏，偏振片 P_1 为起偏器，透过的线偏振光的光强只有入射自然光光强的一半。自然光由偏振片 P_1 起偏后再垂直照射偏振片 P_2 ，偏振片 P_2 即为检偏器。以光的传播方向为轴转动检偏器 P_2 ，观察透射光的光强，我们发现透射光的光强作周期性变化，当两个偏振片的偏振化方向平行时，透射光的光强最大，当两个偏振片的偏振化方向垂直时，透射光的光强最小，近似为零，这种现象称为“消光”现象。 P_2 缓慢转动一周，可以观察到两次光强最大和两次光强为零。若入射到 P_2 的是自然光，转动 P_2 ，透射光强不变。若入射到 P_2 的是部分偏振光，则能观察到两次光强最强和两次光强最弱，但不会出现光强为零的情况。线偏振光通过偏振片的光强变化规律遵守马吕斯定律。

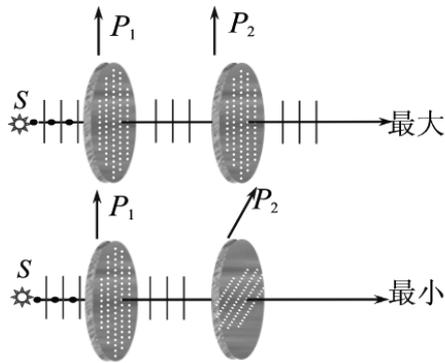


图 11-9

设入射线偏振光的光矢量振动方向和偏振片偏振化方向的夹角为 α ，如图 11-10 所示，将

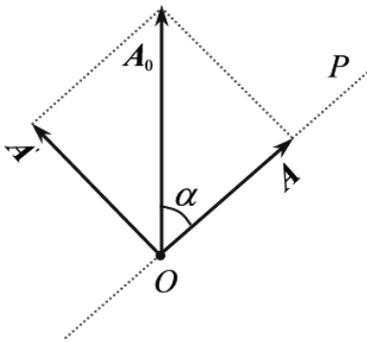


图 11-10

经过起偏器以后出射的线偏振光沿着平行于检偏器的偏振化方向和垂直于它的方向分解，因为只有平行分量可以透过，所以透射光的振幅为 $A = A_0 \cos \alpha$ ，又因为光强与振幅的平方成正比，且不考虑器件对光的吸收，透射光的光强可表示为

$$I = I_0 \cos^2 \alpha \tag{11-1}$$

式(11-1)称为**马吕斯定律**，是法国物理学家马吕斯在 1808 年发现的。

【例题 11.1】一束自然光入射相互重叠的四块偏振片上，四块偏振片偏振化方向相互之间的夹角为 $\alpha = 30^\circ$ ，求透射光强。

解：如图 11-11 所示为光通过 4 块偏振片后振动方向变化的情况。设入射自然光光强为 I_0 因为自然光可以沿任意方向分解为两个相互独立的、等振幅的线偏振光，光强各等于自然光

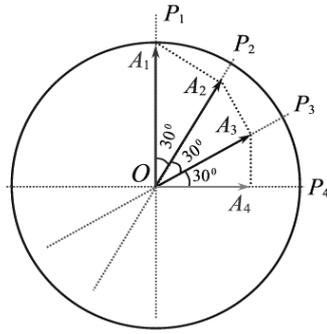


图 11-11

光强的一半，所以我们将入射自然光沿着平行于偏振片 1 的偏振化方向 P_1 和垂直于 P_1 的方向进行分解，得到经过偏振片 1 后透射光的光强 I_1 为

$$I_1 = \frac{1}{2} I_0$$

经过偏振片 2 后透射光的光强 I_2 为

$$I_2 = I_1 \cos^2 \alpha = \frac{1}{2} I_0 \cos^2 \alpha$$

经过偏振片 3 后透射光的光强 I_3 为

$$I_3 = I_2 \cos^2 \alpha = \frac{1}{2} I_0 \cos^4 \alpha$$

经过偏振片 4 后透射光的光强 I_4 为

$$I_4 = I_3 \cos^2 \alpha = \frac{1}{2} I_0 \cos^6 \alpha = 0.21 I_0$$

【思考题】通过解答【例题 11.1】，我们发现这也是一种将光矢量的振动方向转过 90° 的方法，那么要实现“将光矢量的振动方向转过 90° ”这一功能最少需要几个偏振片呢？还有其他的方法能实现这一功能吗？这一功能有什么应用？

【实验探究题/自主研究题】请设计一个实验方案，测量通过两个偏振片后的光强，研究光强变化的规律，给出表达式。

11.2.2 利用介质分界面的反射和折射获得偏振光

当自然光入射到两种介质的分界面时，反射光和折射光一般都是部分偏振光；在特殊情况下，反射光会成为线偏振光。

如图 11-12 所示， MM' 是两种介质（例如空气和玻璃）的分界面， n_1 和 n_2 分别是介质的折射率。 SC 是一束自然光的入射光线， CR 和 CT 分别是反射光线和折射光线。电磁波理论

指出，光波从空气入射到玻璃后，在反射光中垂直振动比平行振动强，而在折射光中，平行振动比垂直振动强，它们的偏振状态如图所示。图中的点表示与纸面垂直的光振动，短线表示纸面内的光振动，点和短线的多寡表示上述两个分振动所代表的光波的强弱。

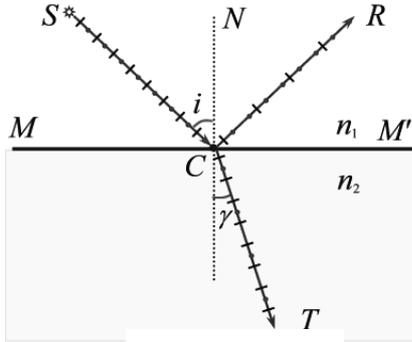


图 11-12

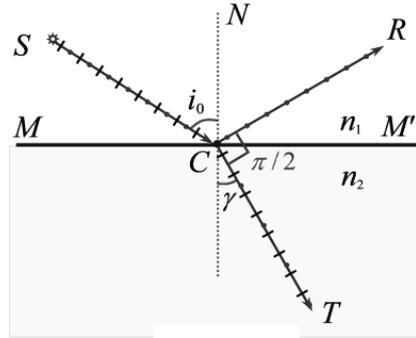


图 11-13

改变入射角 i 时，反射光的偏振化程度也随之改变。实验指出，当反射光与折射光的夹角为 $\pi/2$ 时，如图 11-13 所示，在反射光中只有垂直于入射面的振动，这时的反射光为线偏振光，而折射光仍为部分偏振光，可以证明（见后），此时，入射角满足

$$\tan i_0 = \frac{n_2}{n_1} \quad (11-2)$$

其中， i_0 称为起偏角。式 (11-2) 是 1812 年由布儒斯特 (D. Brewster) 从实验确定的，称为**布儒斯特定律**，起偏角 i_0 也称为布儒斯特角。

证明：自然光以起偏角 i_0 入射到两种介质的分界面上时，反射光线和折射光线相互垂直（图 11-13），即

$$i_0 + r = \frac{\pi}{2}$$

根据折射定律，有

$$n_1 \sin i_0 = n_2 \sin r$$

式中 n_1 和 n_2 分别为介质 1 和介质 2 的折射率。由以上两式可得

$$n_1 \sin i_0 = n_2 \sin\left(\frac{\pi}{2} - i_0\right) = n_2 \cos i_0$$

即

$$\tan i_0 = \frac{n_2}{n_1}$$

下面介绍几种反射光和折射光的偏振特性的应用实例。

1) 激光器中的“布儒斯特窗”

在外腔式气体激光器中，如图 11-14 所示， G_1 和 G_2 两块玻璃片为偏振化器件。为减少两块玻璃片的反射损耗，放置时令两玻璃片的法线与管轴间的夹角为布儒斯特角，故称为**布儒斯特窗**。它利用反射镜 M 和平板玻璃 G 使入射光 S 的折射光束来回地在两块玻璃片 G_1 和 G_2 的上、下两表面之间反射，当光束以布儒斯特角经过玻璃片表面时，垂直于入射面的光振动被陆续反射掉，最后只有平行入射面振动的光可以在激光器内反射振荡而形成激光，通过平板玻璃 G 射出。这样的激光为线偏振光。

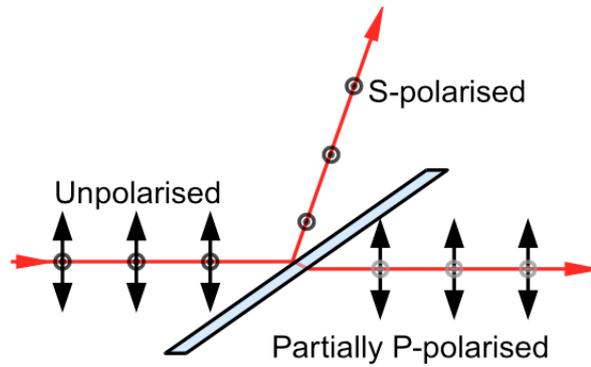
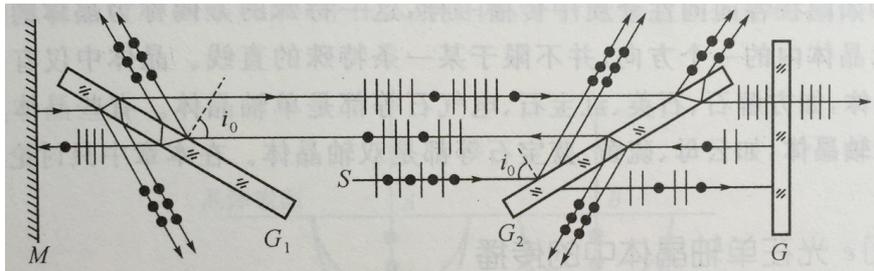


图 11-14

2) 偏光眼镜

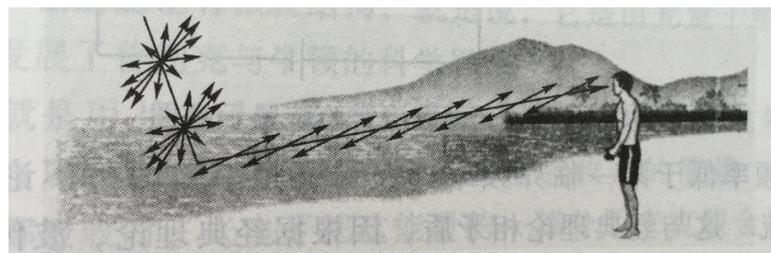
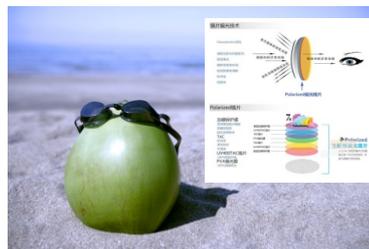


图 11-15

夏天日光强烈，在地面上受到很强的反射，这种反射光是部分偏振的。大部分光的偏振方向垂直于日光的入射面，即平行于（产生反射的）地面，如图 11-15。为了保护眼睛，我们应戴一副墨镜，它用吸收光的深色玻璃制成，同时贴有一片“起偏薄膜”，只允许垂直方向的偏振光透过，这样大部分地面反射光便被挡掉了。

3) 偏振镜

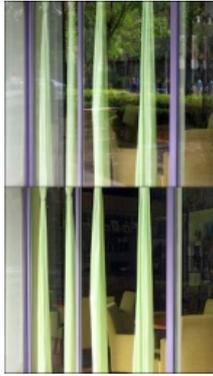


图 11-16

玻璃表面的反射光，使我们拍摄不到玻璃橱窗里面的东西，水面的反射光使我们拍摄不到水中的鱼，树叶表面的反射光使树叶变成白色，等等。晴朗的蓝天散射的太阳光也是部分偏振光，它使蓝天变的不那么幽深。如果消除了这些偏振光，许多照片会显得颜色更加饱和，画面更加清晰。能够滤除偏振光的滤镜叫做偏振镜。图 11-16 是同一场景拍摄的两幅照片，上图中有明显的玻璃反光，较难看清室内的情况，下图是相机加用了偏振镜滤光后拍摄的照片，室内的物品看得非常清楚。

4) 玻璃片堆起偏

自然光以起偏角 i_0 入射时，反射光中虽然只有垂直于入射面的光振动，但并不意味着入射自然光中的全部垂直于入射面的光振动都被反射。实验表明，对一般的光学玻璃，反射光的强度通常只占入射光强的 15%，所以折射光（或叫透射光）是一束比反射光强很多的部分偏振光。

为了增强反射光的强度和um提高折射光的偏振化程度，可以将许多平行玻璃片叠成**玻璃片堆**，如图 11-17 所示。自然光以布儒斯特角入射玻璃堆，在每一个玻璃介面上反射光均为

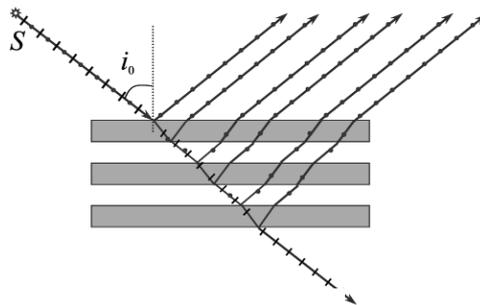


图 11-17

振动垂直于入射面的偏振光，并且经过多次反射后，反射光得以加强。相应的折射光中垂直于入射面振动的光的强度逐渐减弱，最后变成平行于入射面振动的偏振光。玻璃片数越多，透射光的偏振化程度越高。当玻璃片足够多时，最后透射出来的折射光就接近于振动面平行于入射面的完全偏振光。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/465000232203012013>