

## 实验十二 偏振光旋光实验

### 【实验目的】

- 1.观察光的偏振现象掌握产生偏振光的原理和方法。
- 2.了解偏振光旋光实验仪的组成结构和原理，学会使用偏振光旋光实验仪测定旋光溶液的旋光率。

### 【实验原理】

#### 1.偏振光的概念

电磁理论说明，在自由空间传播的光波是一种纯粹的横波，光波中沿横向振动的物理量有电场矢量  $E$  和磁场矢量  $B$ 。鉴于在光和物质的相互作用过程中主要是光波中的电矢量起作用，所以人们总是以电矢量  $E$  作为光波中振动矢量的代表。

光的横波性只表明电矢量与光的传播方向垂直，在与传播方向垂直的二维空间中电矢量  $E$  还有各式各样的振动状态，这称之为光的偏振态或偏振结构。实际最常见的光的偏振态大体可分为五种，即自然光、线偏振光、部分偏振光、圆偏振光和椭圆偏振光。本实验只讨论自然光和线偏振光。

自然光(如太阳、电灯发出的光)是由大量的光子组成的，每个光子的振动方向是不同的，因此总的统计效果是偏振性相互抵消，整体不显偏振性。自然光通过某些物质时，由于吸收、反射、折射等原因，有时会把某一方向的光振动滤掉，或将某些光振动分开，这样就能得到只包含单一振动方向的光，称为线偏振光；线偏振光中振动方向与传播方向构成的平面称为光的振动面；使自然光变成偏振光的装置称为偏振片(或起偏器)。

#### 2.偏振片

某些晶体对不同方向的电磁振动具有选择吸收的性质，例如天然的电气石晶体是六角形的片状，如图 12-1 所示，长对角线的方向称为它的光轴。当光线射在这种晶体表面上时，振动的电矢量与光轴平行时被吸收得较少，光可以较多地通过该晶体，见图 12-1(a)；电矢量与光轴垂直时被吸收得较多，光通过得少，见图 12-1(b)，这种性质称为二向色性。

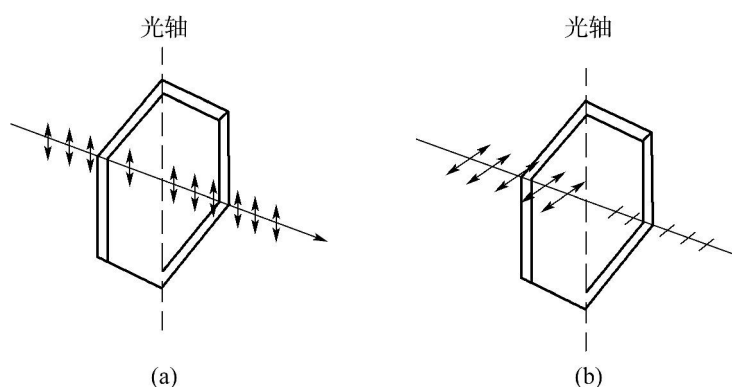


图 12-1 晶体的光轴

电气石对两个方向振动吸收程度的差别是不够大的，用做偏振片的理想晶体最好能尽量使一个方向的振动被全部吸收。人们把偏振片上能透过光的振动方向称为它的透振方向或光轴(以区别于光的传播方向)，在图 12-1 中用虚线表示。由于偏振片对光振动的选择透射作用，非偏振光就变成偏振光了，因此偏振片可以作为起偏器用在各种光学仪器上。

下面再介绍下半波片(即  $1/2$  波片)的性质。半波片也是一种偏振片，如果入射的线偏振光的振动面与半波片的光轴的交角为  $\theta$ ，则通过半波片的出射光仍为线偏振光，但其振动面相对于入射光的振动面旋转了  $2\theta$  角。

### 3. 检偏系统

人眼对自然光和偏振光无直接判断能力，必须借助仪器才能判别。能够检查判断偏振光的仪器称为检偏器，检偏器是一个可以转动透振方向的检偏片。下面分析一下自然光通过起偏器  $P_1$  及检偏器  $P_2$  所遵循的规律。

如图 12-2 所示，在垂直于光的传播方向上旋转两个偏振片  $P_1$  和  $P_2$ 。

(1) 当  $P_1$  和  $P_2$  的光轴平行时，通过  $P_1$  的光仍可通过  $P_2$ ，此时通过  $P_2$  的光强度最大，通过使用光功率计测量可以得到光功率的最大值，见图 12-2(a)。

(2) 若将  $P_2$  以光线为轴转过  $90^\circ$ ，使  $P_2$  和  $P_1$  的光轴的方向正交，见图 12-2(b)，则来自  $P_1$  的偏振光不能再通过  $P_2$ ，此时通过  $P_2$  的光通过光功率计得到光功率最小值（最小值接近 0，通常达不到 0）。如果连续转动  $P_2$ ，就会发现透过  $P_2$  的光打到光功率计上，光功率计的读数会发生从最小值到最大值再到最小值的连续周期性变化，一个变化周期  $P_2$  旋转了  $180^\circ$  转角。

(3) 若  $P_1$  与  $P_2$  的光轴方向既不平行也不垂直，而是相互交成某一角  $\theta$ ，如图 12-2(c) 所示，这样来自  $P_1$  的偏振光(强度为  $I_0$ )将部分地通过  $P_2$ ，其通过部分光强为

$$I = I_0 \cos^2 \theta \quad (12-1)$$

式中  $I_0$  和  $I$  分别是通过检偏器  $P_2$  前后的光强度，这一关系就称为马吕斯定律。

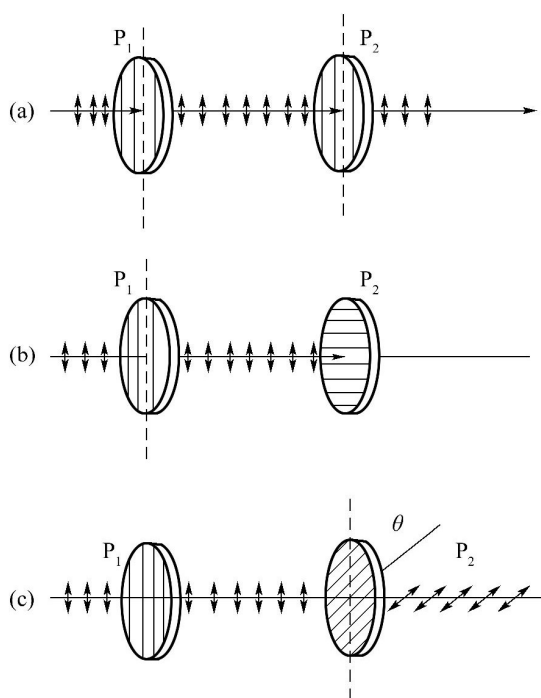


图 12-2 起偏器与检偏器

### 4. 旋光性

由马吕斯定律可知，当起偏器  $P_1$  与检偏器  $P_2$  的光轴正交时，光线不能通过，光功率计读数为 0（或接近 0）。但是如果在两个正交的偏振片之间放上某些晶体或溶液(如石英晶体、蔗糖、葡萄糖的溶液以及很多的有机物质，如松节油、樟脑等)时，光功率计的读数将增大。这个现象表明，偏振光在通过晶体或溶液时，光振动的方向旋转了一个角度  $\varphi$ ，不再与  $P_2$  的光轴正交，可以部分通过了。这种能使偏振光的振动面旋转的性质称为旋光性；具有旋光性的物质称为旋光物质，本实验所研究的蔗糖溶液就是一种旋光物质；图 12-3 是研究旋光性规律的装置。

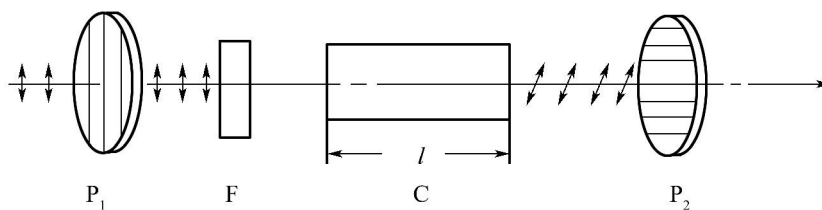


图 12-3 装置示意图

未放入旋光物质时，先转动  $P_2$  将光功率计示数调到最小值，放入晶体片 F 或旋光溶液 C 后，光功率计读数将增大，再转动  $P_2$  使光功率计读数达到最小值，显然这时  $P_2$  转过的角度就是振动面在旋光物质中旋转的角度，该角度被称为旋光角度或旋光度，用  $\varphi$  表示。

在面对入射光方向观察时，能使振动面沿逆时针方向旋转的物质，称为左旋物质，反之能使振动面沿顺时针方向旋转的物质称为右旋物质。石英晶体、糖溶液，或由于结晶形状不同，或由于分子结构不同，都具有左旋或右旋两种形式。

实验证明旋光度的大小除取决于物质的本性外，还和测定时偏振光所通过的旋光性物质的厚度、光的波长以及测定时的温度有关。当被测物质是溶液，并且光的波长和温度保持不变时，旋光度  $\varphi$  和溶液中旋光物质的质量分数  $C$  及光线所通过的溶液厚度  $L$  成正比，即

$$\varphi = \alpha CL \quad (12-2)$$

式中， $\alpha$  是与入射光的波长、物质的性质有关的比例常数，称为旋光率。旋光率是表征旋光性能的最基本的光学参数。式(12-2)中  $\varphi$  的单位是度， $C$  的单位是  $\text{g}/\text{cm}^3$ ， $L$  的单位是  $\text{dm}$ ， $\alpha$  的单位是  $^\circ \cdot \text{cm}^3/(\text{g} \cdot \text{dm})$ 。

实验表明，同一旋光物质对不同波长的光有不同的旋光率  $\alpha$ ，在一定温度下， $\alpha$  的值与入射光波长  $\lambda$  的平方成反比，即随波长的减少而迅速增大，这种现象称为旋光色散。如在可见光范围内，糖溶液的旋光度  $\varphi$  的关系服从下式，即

$$\lambda_1^2 \varphi_1 = \lambda_2^2 \varphi_2 \quad (12-3)$$

本实验中我们采用波长( $\lambda=650.0\text{nm}$ )的半导体激光器作为光源来测定蔗糖溶液的旋光率。

### 【实验仪器】

实验仪器主要有偏振光旋光实验仪和半荫旋光仪(糖量计)两种类型。本实验中采用偏振光旋光实验仪。实验样品选用纯水及 4 种不同浓度的蔗糖溶液。

偏振光旋光实验仪的结构如图 12-4 所示。它由光具座、带刻度转盘的偏振片 2 个、样品试管、样品试管调节架、光功率计等组成。

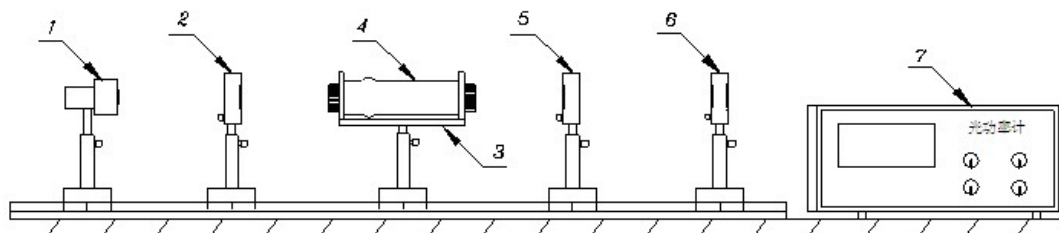


图 12-4 偏振光旋光实验仪

- (1) 半导体激光器 (S) ; (2) 起偏器及转盘(P1); (3) 样品管调节架(R); (4) 样品试管;  
(5) 检偏器及转盘(P2); (6) 光探测器 (硅光电池 T) ; (7) 光功率计(I)

图中 P<sub>1</sub> 为起偏器, P<sub>2</sub> 为检偏器, S 为半导体激光器 (波长  $\lambda = 650.0\text{nm}$ ) , R 为盛放待测溶液的玻璃试管, 由半导体激光器发出的部分偏振光经起偏器 P<sub>1</sub> 后变为线偏振光, 在放入待测溶液前先调整检偏器 P<sub>2</sub>, 使 P<sub>2</sub> 与 P<sub>1</sub> 的偏振化方向垂直, 透过 P<sub>2</sub> 的光最暗, 功率计示值变最小。当放入待测溶液后, 由于旋光作用, 透过检偏器 P<sub>2</sub> 的光由暗变亮, 功率计示值变大。再旋转检偏器 P<sub>2</sub>, 使功率计示值重新变最小, 所旋转的角度就是旋转角  $\varphi$ , 这样就可以利用公式(12-2)求出待测液体浓度。

#### 【实验步骤】

1. 根据图 12-4 中的结构将偏振光旋光实验仪的各部分组装完整 (其中样品试管选择 0 号纯水) 。
2. 先取下检偏器, 调节半导体激光器发出的激光束与起偏器、光功率计探头等高同轴。
3. 调节起偏器, 使输出偏振光最强 (即光功率计示数最大) 。（半导体激光器发出的是部分偏振光）
4. 将检偏器安装到相应位置的光具座上, 调节检偏器与起偏器等高同轴 (即调节检偏器与起偏器平行) 。
5. 调节检偏器转盘直至光功率计示数为零 (如调不到零, 调至最小即可, 此时检偏器的透光轴与起偏器的透光轴相互垂直) 。记录此时检偏器转盘读数 (注意估读) , 重复测量三次取平均值。
6. 取下 0 号样品试管, 分别换上 1-4 号样品试管, 重复第 5 部 (此时检偏器的透光轴与起偏器的透光轴不再垂直) 。按表 12-1 记录实验数据。

表 12-1  
旋光物质蔗糖水溶液, 温度  $t =$  (°C), 旋光管长  $L = 1.0(\text{dm})$ , 波长  $\lambda = 650.0(\text{nm})$

质量分数 C /(g/cm <sup>3</sup> )	检偏器转盘读数/°				旋光度/° $\varphi_n = \overline{\varphi}_n - \overline{\varphi}_0$
	1	2	3	平均	
0.00 (纯水)				$\overline{\varphi}_0 =$	
0.05				$\overline{\varphi}_1 =$	
0.10				$\overline{\varphi}_2 =$	
0.15				$\overline{\varphi}_3 =$	
0.20				$\overline{\varphi}_4 =$	

#### 【数据处理】

为了掌握各种处理数据的方法, 实验中给出蔗糖溶液质量分数计算其旋光率。一般可以通过每一质量分数下测得的旋光度而计算出旋光率, 但这五个  $\alpha$  却不能简单地用取其算术平均值的方式来得到最后结果, 因为这不属于等精度测量。对这种情况通常有两种方法得到最后结果, 一种是由这五组数据作一元线性回归(请参见绪论部分), 令  $\varphi = KC$ , 而斜率  $K = \alpha L$ , 从而得  $\alpha = K/L$ , 其中 K 的值由回归方程求得, 即

$$K = \frac{\overline{x} \cdot \overline{y} - \overline{xy}}{\overline{x}^2 - \overline{x^2}}$$

计算过程的各种数据填入表 12-2 中。另一种简单的数据处理方法是由这五组数据在坐标纸上描点画出直线，并由图另取两点计算出该直线的斜率  $K$ ，从而得到  $\alpha=K/L$ 。需要注意的是，无论选用哪一种方法对不同质量分数的测量都应选用相同的试管长度  $L$ 。

表 12-2

	1	2	3	4	平均值
$x=C_n$					
$x^2=C_n^2$					
$y=\varphi_n$					
$x \cdot y=C_n \varphi_n$					

【思考题】

- 1.光的偏振现象为什么能说明光波是横波?
- 2.对不同质量分数的测量为什么要选择相同的管长?
- 3.在各种质量分数下都可以求出  $\alpha$ ，但为什么不能用它们的算术平均值来表达最后的结果?