

旋光物质旋光方向的确定及旋光度测算

赵世民

(韶关学院 食品科学与工程学院, 广东 韶关 512005)

摘要: 通过几何学的方法, 就如何校正旋光仪的零点、确定旋光方向、测定旋光度以及计算比旋光度进行了探讨。首先根据三分视场的明暗变化确定平面偏振光的零点位置, 结合旋光仪刻度盘的读数求出旋光仪的零点校正值。根据平面偏振光的旋光方向与旋光仪的刻度盘旋转方向之间的几何关系, 判断旋光仪的刻度盘旋转方向是否与平面偏振光的旋光方向一致, 据此判断蔗糖及其水解产物的旋光方向, 再根据旋光仪刻度盘旋转的角度求出平面偏振光旋转的角度, 进而求出相应的比旋光度。结果表明, 根据平面偏振光的旋光方向与旋光仪的刻度盘旋转方向之间的几何关系, 可以正确确定旋光物质的旋光方向和求算其旋光度。

关键词: 旋光仪; 调零; 旋光方向; 旋光度; 比旋光度; 蔗糖

中图分类号: TS 201.2 文献标志码: A 文章编号: 1006-7167(2012)10-0022-04

Determination of Rotatory Direction of Optically Active Substance as well as Measurement and Calculation of the Optical Rotation

ZHAO Shi-min

(College of Food Science and Technology, Shaoguan University, Shaoguan 512005, China)

Abstract: By the method of geometry, the correction of the zero of the polarimeter, the determination of the rotatory direction, and the measurement of the optical rotation and the calculation of the specific rotatory power were discussed. According to light and shade change of three region field of view, the zero position of the plane polarized light was determined. By using the polarimeter dial readings, the measurement and calculation of the polarimeter zero correction were made. According to the geometric relationship between the rotatory direction of plane polarized light and direction of rotation of the polarimeter dial, judgment was made whether the direction of rotation of the polarimeter dial was consistent with the rotatory direction of plane polarized light, pursuant to which the judgment for the rotatory direction of the sucrose and its hydrolysis product were made. And then, in accordance with polarimeter dial rotating angle the angle of rotation of plane polarized light was calculated. Thus the corresponding specific rotatory power was obtained. The results show that according to the geometric relationship between the rotator direction of plane polarized light and direction of rotation of the polarimeter dial, the rotator direction of optically active substance can be correctly determined, and along with their optical rotation calculation.

Key words: polarimeter; zero set; rotatory direction; optical rotation; specific rotatory power; sucrose; geometry

0 引言

单糖、低聚糖及大部分氨基酸的分子中都含有数

目不等的不对称碳原子, 当一束平面偏振光穿过这些物质的溶液时, 平面偏振光的振动平面会旋转一定的角度。测定平面偏振光的旋转方向、旋转角度和比旋光度, 对于研究这类物质的理化性质和分子结构有重要意义^[1-3]。测量时, 比较困难的是, 如何确定旋光仪的零点校正值、旋光物质的旋光方向和求算比旋光度, 本文以蔗糖为例, 运用几何学原理就这一问题作些探

收稿日期: 2011-12-03

作者简介: 赵世民(1956-), 男, 陕西洛川人, 博士, 教授, 主要研究方向为食品化学。

Tel.: 0751-8120167; E-mail: shiminzhao2000@yahoo.com.cn

讨。

1 旋光仪零点的确定

将没有旋光性的蒸馏水注入旋光管(长管或者短管)中,然后开启旋光仪,使平面偏振光穿过旋光管中的蒸馏水,平面偏振光的振动平面应该不发生旋转,此时检偏镜和刻度盘应该处于零点位置,平面偏振光完全穿过检偏镜,视场应该是完全明亮的 3 个区域,如图 1($\alpha = 0^\circ$) 所示的情形。刻度盘指示的位置应该是“0°”,此即为旋光仪的零点。但由于仪器制造精度所限,以及零部件之间的错位,使得当视场为完全明亮的 3 个区域时,虽然此位置是仪器的零点位置,但刻度盘上的读数可能不为“0°”,即实际的零点位置与仪器刻度盘上“0°”位置不一致。所以用旋光仪测定旋光物质溶液的旋光度时,需要校正旋光仪的零点位置,找出偏差值。偏差可以是正偏差,也可能是负偏差。当实际测定某旋光物质溶液的旋光度时,应该将此偏差值减去,得出的才是该旋光物质溶液的真实旋光度值。

将没有旋光性的蒸馏水注入长旋光管中,转动 WXG-4 型旋光仪目镜下方的手轮(沿逆时方向转动),使刻度盘和固定在刻度盘上的检偏镜沿顺时针方向旋转,通过目镜观察视场的明暗变化。当刻度盘上的读数为 1.10° 时,视场变为完全明亮的 3 个区域^[14],此时,对应的是旋光仪的真实零点(0°)。

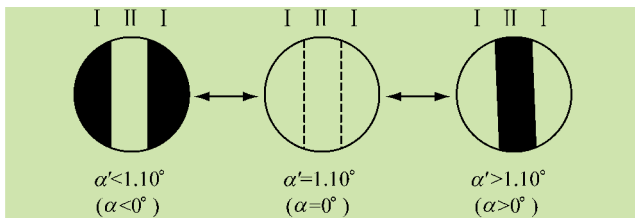


图 1 零点位置附近的视场变化和刻度盘读数

图 1 中 α 表示检偏镜旋转的角度(即旋光度); α' 表示刻度盘(与检偏镜固定在一起,并同步旋转)上对应的读数。由图 1 可见,当 $\alpha = 0^\circ$ 时 $\alpha' = 1.10^\circ$,表明旋光仪刻度盘读数与真实零点有 1.10° 的偏差,此即为旋光仪的旋光度校正值。在零点附近,刻度盘沿逆时针方向旋转时,即 $\alpha' < 1.10^\circ$,区域 I 变暗,区域 II 变得明亮;相反,在零点附近,刻度盘沿顺时针方向旋转时,即 $\alpha' > 1.10^\circ$,区域 II 变暗,区域 I 变得明亮。

通过上面的讨论,校正旋光仪的方法是:给旋光管中加入没有旋光性的蒸馏水,然后通过手轮使刻度盘沿顺时针方向旋转,眼睛通过目镜看到的视场变化是,区域 I 为暗,区域 II 为明亮,这说明检偏镜的位置还没有到零点位置,再继续沿顺时针方向旋转刻度盘,区域 I 和区域 II 都变得明亮,且明亮程度一致,这时检偏镜位置刚好在零点位置。此时,如果继续沿顺时针方向旋转刻度盘,视场中区域 II 会逐渐变暗,区域 I 会逐渐

变得明亮,这说明检偏镜位置已超过了零点,此时应停止继续沿顺时针方向旋转刻度盘,而应沿逆时针方向旋转刻度盘,直到重新出现区域 I 和区域 II 都变得明亮,且明亮程度一致的视场,此即为旋光仪的零点位置。记录此时刻度盘上的读数,即为旋光仪的旋光度校正值。正式测定旋光物质溶液的旋光度时,应从测得的刻度盘读数减去此校正值,才是该旋光物质溶液的真实旋光度。如果我们用短旋光管盛放蒸馏水校正旋光仪,测得旋光仪的零点校正值为 0.90° 。所以更换长度不同的旋光管,需要重新校正旋光仪的零点。

2 旋光物质溶液旋光方向的确定

平面偏振光的旋转方向比较难判断,如果平面偏振光向右(顺时针方向)旋转了 α ,从效果看,等同于该平面偏振光向左(逆时针方向)旋转了 $180^\circ - \alpha$ 。

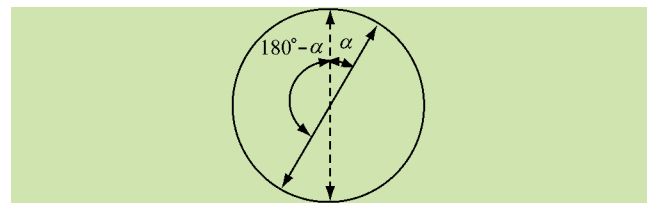


图 2 平面偏振光的旋转

平面偏振光穿过具有旋光性物质的水溶液时,偏振面旋转的角度与旋光性物质溶液的浓度呈正比,与光线穿过旋光性物质水溶液的光程呈正比,据此,可以对偏振面旋转的方向作出判断。

如果保持旋光性物质水溶液的浓度不变,然后改变平面偏振光穿过旋光性物质水溶液的光程,则旋光度随之改变。当光程减少为原来的一半时,平面偏振光旋转的角度(旋光度)就减小为原来的一半。旋光仪有 2 个长度不同的旋光管,短旋光管的长度刚好是长旋光管的一半,这样,当光线穿过短旋光管中的旋光性物质水溶液时,光程恰好是长旋光管的一半,令长旋光管的长度为 l ,则短旋光管的长度为 $l/2$,令平面偏振光穿过长旋光管中的旋光性物质水溶液后的旋光度为 α_l ,平面偏振光穿过短旋光管中的同一种旋光性物质水溶液后的旋光度为 $\alpha_{l/2}$ 。如果被测旋光性物质水溶液为右旋(平面偏振光沿顺时针方向旋转),此时旋光度为正值,那么平面偏振光分别穿过长旋光管和短旋光管中的旋光性物质水溶液后,平面偏振光的旋转如图 3 所示。

由于平面偏振光穿过短旋光管的光程是穿过长旋光管的 $1/2$,则以下关系式成立,

$$\alpha_{l/2} = \alpha_l / 2 \tag{1}$$

如果此时刻度盘(与检偏镜固定在一起,并同步旋转)沿顺时针方向旋转的角度分别为 α'_l 和 $\alpha'_{l/2}$,旋转方向和角度与平面偏振光相一致,则以下关系式应成立,

$$\alpha'_{1/2} = \alpha'_1/2 \quad (2)$$

从图3可以看出:

$$\alpha_1 = \alpha'_1, \quad \alpha_{1/2} = \alpha'_{1/2} \quad (3)$$

如果刻度盘上的读数符合式(2),就可以认为平面偏振光是沿顺时针方向向右旋转的,被测物质属于右旋物质;如果被测旋光物质溶液为左旋(平面偏振光沿逆时针方向旋转),此时旋光度应为负值,那么平面偏振光分别穿过长旋光管和短旋光管中的被测旋光物质溶液后,平面偏振光的旋转情况如图4所示。则式(1)也成立。

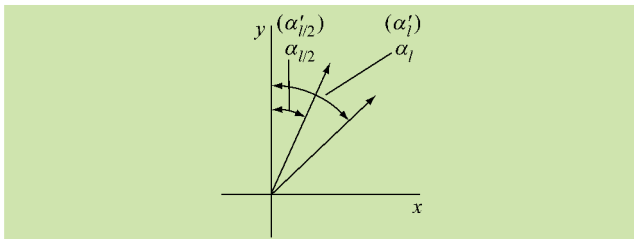


图3 右旋物质的旋光方向

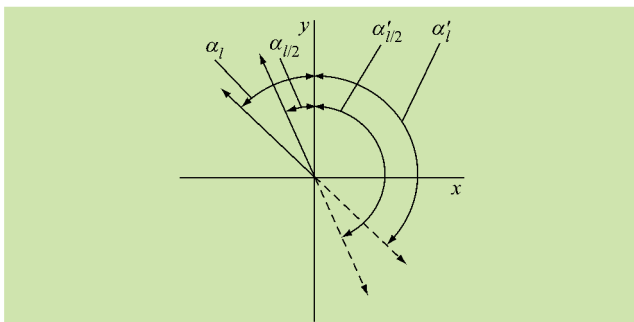


图4 左旋物质的旋光方向

由于测定时刻度盘(固定有检偏镜)始终是沿顺时针方向向右旋转的,平面偏振光的实际旋转方向与刻度盘的旋转方向恰好相反,那么如何根据刻度盘旋转的方向和角度确定被测旋光物质溶液的旋光方向和角度呢?从图4可以看出,刻度盘旋转的角度(α' 和 $\alpha'_{1/2}$)与平面偏振光真实的旋转角度(α_1 和 $\alpha_{1/2}$)之间符合以下关系:

$$\left. \begin{aligned} \alpha_1 &= 180^\circ - \alpha'_1 \\ \alpha_{1/2} &= 180^\circ - \alpha'_{1/2} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

根据式(4)可以从刻度盘上的读数(α'_1 和 $\alpha'_{1/2}$)求出旋光物质溶液的旋光度(α_1 和 $\alpha_{1/2}$)。

由于刻度盘与平面偏振光旋转的方向相反,如何根据刻度盘的旋转方向来确定平面偏振光旋转的方向呢?将式(1)、(4)结合起来,应有以下关系式:

$$180^\circ - \alpha'_{1/2} = \frac{180^\circ - \alpha'_1}{2} \quad (5)$$

从式(5)看出,对于某种旋光物质溶液,只要用长、短旋光管分别测出刻度盘旋转的角度(α'_1 和 $\alpha'_{1/2}$),如果符合式(5)就可以认为该旋光物质为左旋物质,平面偏振光就是沿逆时针方向向左旋转。

3 旋光物质比旋光度的测定

3.1 蔗糖比旋光度的测定

以蔗糖水溶液为例分析旋光物质的旋光度和旋光方向。用蒸馏水测定出长旋光管对应的旋光仪零点校正值为 1.10° 。往长旋光管中加入浓度为 $13\text{ g}/100\text{ mL}$ 蔗糖水溶液,然后使旋光仪刻度盘(与检偏镜固定在一起,并同步旋转)沿顺时针方向向右旋转,当刻度盘上的读数为 18.45° 时视场的3个区域(I和II)全部变的明亮,说明平面偏振光检全部穿过检偏镜,此时刻度盘(与检偏镜固定在一起,并同步旋转)沿顺时针方向向右实际旋转的角度应该是刻度盘上的读数减去旋光仪的零点校正值,

$$\alpha'_1 = 18.45^\circ - 1.10^\circ = 17.35^\circ$$

然后用短旋光管测定该蔗糖水溶液的旋光度,用蒸馏水测定出短旋光管对应的旋光仪零点校正值为 0.90° 。往短旋光管中加入浓度为 $13\text{ g}/100\text{ mL}$ 蔗糖水溶液,旋光仪刻度盘(与检偏镜固定在一起,并同步旋转)沿顺时针方向向右旋转,当视场的3个区域(I和II)全部变得明亮时,刻度盘上的读数为 9.45° ,则刻度盘沿顺时针方向向右实际旋转的角度应为

$$\alpha'_{1/2} = 9.45^\circ - 0.90^\circ = 8.55^\circ$$

现在判断平面偏振光旋转的方向,由于

$$\frac{\alpha'_1}{2} = \frac{17.35^\circ}{2} = 8.68^\circ$$

而 $8.55^\circ \approx 8.68^\circ$,即 $\alpha'_{1/2} \approx \alpha'_1/2$ 。根据前面的推论,可以得出蔗糖水溶液是使平面偏振光向右旋转,蔗糖属右旋物质。蔗糖水溶液的旋光度分别为:

$$\alpha_1 = \alpha'_1 = +17.35^\circ$$

$$\alpha_{1/2} = \alpha'_{1/2} = +8.55^\circ$$

旋光度前面的正号表示蔗糖是右旋物质。

浓度相同的蔗糖水溶液,由于光程不同,旋光度也不同。同样道理,如果光程相同,蔗糖水溶液的浓度不同,那么旋光度也不同。对于同一种旋光物质,其旋光度会因浓度和光程的变化而变化,不利于区分和比较不同的旋光物质。为此,人们提出用比旋光度来表征不同物质的旋光性^[15-17]。比旋光度的定义如下:

$$[\alpha]'_\lambda = \frac{\alpha}{cl} \times 100 \quad (6)$$

式中: $[\alpha]'_\lambda$ 表示旋光物质的比旋光度; α 表示旋光物质的旋光度; c 表示旋光物质水溶液的浓度,单位为 100 mL 溶液中含有的旋光物质克数; l 表示平面偏振光穿过旋光物质水溶液的光程,即比色管的长度,单位是 dm ; t 表示旋光物质水溶液的温度,单位是 $^\circ\text{C}$,通常规定为 20°C 或 25°C ; λ 是单色平面偏振光的波长,通常是钠光谱中 D 谱线对应的单色光,波长为 589 nm ,所以比旋光度的定义也可以写为

$$[\alpha]_D^{20} = \frac{\alpha}{cl} \times 100, \quad [\alpha]_D^{25} = \frac{\alpha}{cl} \times 100$$

如果用长旋光管(2 dm)测出的数据计算,蔗糖的比旋光度为

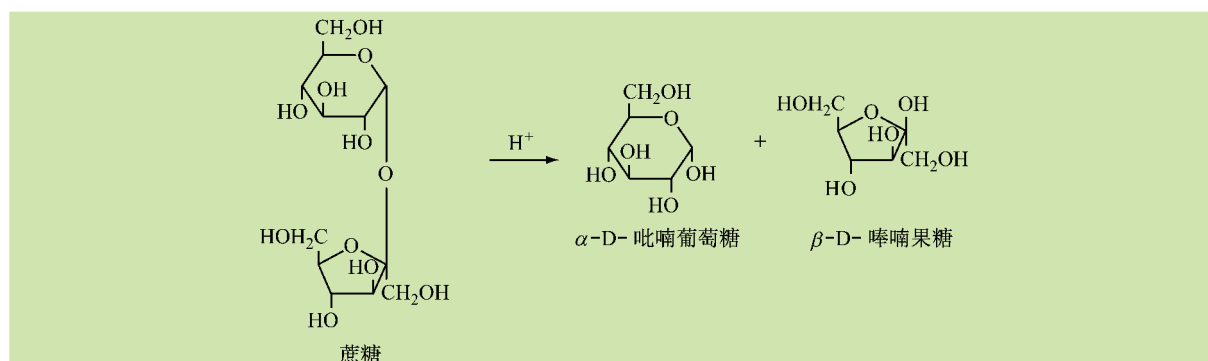
$$[\alpha]_D^{20} = \frac{\alpha}{cl} \times 100 = \frac{17.35^\circ}{13 \times 2} \times 100 = 66.73^\circ$$

前面已经证明旋光方向为右旋,所以在比旋光度前面加一个正号(+),

$$[\alpha]_D^{20} = +66.73^\circ$$

同样,如果用短旋光管(1 dm)测出的数据计算,蔗糖的比旋光度为 $[\alpha]_D^{20} = 65.77^\circ$ 。

用长旋光管与短旋光管得出的比旋光度值不一



α -D-吡喃葡萄糖和 β -D-呋喃果糖的分子中都含有不对称碳原子,所以它们都具有旋光性,但它们使平面偏振光旋转的方向和角度不同。蔗糖水解物水溶液的旋光度实际上是以上两种产物旋光度加合的结果。

为了确定旋光方向,分别用长旋光管(2 dm)和短旋光管(1 dm)测量蔗糖水解物水溶液的旋光度。用长旋光管测量时,刻度盘沿顺时针方向向右旋转,刻度盘上的读数是 176.70° ,刻度盘实际旋转的角度(α'_l)应该是刻度盘上的读数减去旋光仪零点校正值(1.10°),

$$\alpha'_l = 176.70^\circ - 1.10^\circ = 175.60^\circ$$

用短旋光管测定时,刻度盘沿顺时针方向向右旋转,刻度盘上的读数是 178.95° ,刻度盘实际旋转的角度($\alpha'_{l/2}$)应该是刻度盘上的读数减去旋光仪零点校正值(0.90°)

$$\alpha'_{l/2} = 178.95^\circ - 0.90^\circ = 178.05^\circ$$

现在我们来判断平面偏振光穿过蔗糖水解产物水溶液后的旋转方向,根据刻度盘旋转的角度,如果蔗糖水解产物是右旋物质,那么应该有以下关系: $\alpha'_{l/2} \approx \alpha'_l/2$ 。

实际情况是

$$\alpha'_{l/2} = 178.05^\circ, \quad \frac{\alpha'_l}{2} = \frac{175.60^\circ}{2} = 87.80^\circ$$

显然

致,但非常接近。蔗糖水溶液比旋光度的文献值是: $[\alpha]_D^{20} = +66.5^\circ$ 。用长、短旋光管得出的比旋光度值与之非常接近。引起误差的原因可能是温度和旋光仪的精度不够造成的。

3.2 蔗糖酸水解产物比旋光度的测定

将 13 g 蔗糖配成浓蔗糖水溶液,然后加入 7.5 mL 浓盐酸,混合均匀后,再补充水使蔗糖水溶液的浓度为 13 g/100 mL,在 100°C 左右的水浴锅中加热 10 min,使蔗糖发生水解反应,一分子蔗糖会生成一分子 α -D-吡喃葡萄糖和一分子 β -D-呋喃果糖:

$$\alpha'_{l/2} \neq \frac{\alpha'_l}{2}$$

α'_l 和 $\alpha'_{l/2}$ 相距甚远,据此判断,蔗糖酸水解产物应该不是右旋物质,但是

$$180^\circ - \alpha'_{l/2} = 180^\circ - 178.05^\circ = 1.95^\circ$$

$$\frac{180^\circ - \alpha'_l}{2} = \frac{180^\circ - 175.60^\circ}{2} = 2.20^\circ$$

显然

$$180^\circ - \alpha'_{l/2} \approx \frac{180^\circ - \alpha'_l}{2}$$

根据前述推论,可以得出结论,蔗糖水解物是左旋物质,平面偏振光穿过蔗糖水解物水溶液后应该向左旋转。用长旋光管和短旋光管测得的旋光度分别应该为:

$$\alpha_l = -(180^\circ - 175.60^\circ) = -4.40^\circ$$

$$\alpha_{l/2} = -(180^\circ - 178.05^\circ) = -1.95^\circ$$

旋光度前面的负号(-)表示蔗糖水解物是左旋物质。

根据比旋光度的定义,如果用长旋光管测得的旋光度数据计算比旋光度,结果如下:

$$[\alpha]_D^t = \frac{\alpha}{cl} \times 100 = -\frac{4.40^\circ}{13 \times 2} \times 100 = -16.92^\circ$$

如果用短旋光管测得的旋光度数据计算比旋光度,结果如下:

(下转第 137 页)

等奖2项。希望立体化实验教学体系的构建思路能对别的高校实验教学体系改革起到借鉴作用。

参考文献(References):

- [1] 李艳酥. 加强示范中心内涵建设 增强高校社会服务能力[J]. 实验室研究与探索 2010 29(7): 225-226.
- [2] 王晓明, 易兵, 徐瑞宁. 基于创新、创业能力培养的新型实验教学模式的构建[J]. 实验技术与管理 2011 28(2): 15-17.
- [3] 叶秉亮, 戴文战, 杨蔚琪. 基于创新能力培养目标的实验教学体系的构建[J]. 实验技术与管理 2008 25(11): 131-135.
- [4] 程永杨, 王为, 李小昱. 构建立体化的创新性实验教学体系与模式[J]. 实验室研究与探索 2008 27(7): 102-105.
- [5] 邓百万, 陈文强, 彭浩. 基于能力培养的微生物实验教学手段与方法的改革研究[J]. 实验技术与管理 2011 28(2): 7-10.
- [6] 王天仕, 宋纯鹏, 尚富德. 构建能力培养型实验教学新体系[J]. 实验室研究与探索 2011, 30(5): 97-100.
- [7] 王礼贵. 国家级经济管理实验教学示范中心的建设与实践[J].

实验室研究与探索 2011 30(2): 98-100.

- [8] 李秀芳, 涂宇清, 华钧. 研究型大学经济学实验教学体系的建设探讨[J]. 实验室研究与探索 2011, 30(3): 373-376.
- [9] 蔡晓, 刘福金. 经济管理类专业实验室管理创新与实践[J]. 实验室研究与探索 2011, 30(4): 137-139.
- [10] 魏裕博, 胡斌, 邵文安. 对实验教学体系构建及教学模式改革的探索[J]. 陕西教育学院学报 2010 26(4): 85-88.
- [11] 邹建新, 徐慧, 孙常清. 基于工程能力培养的实验教学体系构建[J]. 实验室研究与探索 2010 2(12): 108-110.
- [12] 王天仕, 宋纯鹏, 尚富德. 构建能力培养型实验教学新体系[J]. 实验室研究与探索 2011 3(5): 97-100.
- [13] 潘宏利, 卢超, 赵登攀. 应用型本科院校创新实验教学体系的构建与实践[J]. 实验技术与管理 2011 28(9): 28-31.
- [14] 陈阿梅, 秦军伟, 呼汉卫. 实验教学质量监控体系的研究与探索[J]. 实验技术与管理 2011 28(7): 251-253.
- [15] 邓建华. 交通工程专业实验教学体系研究[J]. 实验室研究与探索 2011 30(1): 123-126.

(上接第25页)

$$[\alpha]_D' = \frac{\alpha}{cl} \times 100 = -\frac{1.95^\circ}{13 \times 1} \times 100 = -15.00^\circ$$

从计算结果看,用长旋光管和短旋光管得出的比旋光度比较接近。

4 结 语

测定旋光物质水溶液的旋光度时,通过手轮,使固定有检偏镜的刻度盘始终沿顺时针方向旋转。在测定之前,先将没有旋光性的蒸馏水加入旋光管中,沿顺时针方向旋转固定有检偏镜的刻度盘,使视场变为完全明亮的3个区域,此时,对应的是旋光仪的真实零点(0°),而刻度盘指示的读数则为旋光仪的零点校正值。然后,将待测定的旋光物质水溶液加入旋光管中,沿顺时针方向旋转固定有检偏镜的刻度盘,使视场变为完全明亮的3个区域,那么刻度盘转过零点的真实角度(α')应该是此时刻度盘的读数减去旋光仪的零点校正值。

用长度分别为 l 和 $l/2$ 的2个旋光管,加入旋光物质水溶液后,分别测定旋光度,当视场变为完全明亮的3个区域时,刻度盘(与检偏镜固定在一起,并同步旋转)沿顺时针方向旋转的角度分别为 α'_1 和 $\alpha'_{1/2}$ 。如果 $\alpha'_{1/2} = \alpha'_1/2$,那么,该旋光物质水溶液的旋光度就分别为 $\alpha_1 = \alpha'_1$ 和 $\alpha_{1/2} = \alpha'_{1/2}$,该旋光物质是右旋物质。如果 $180^\circ - \alpha'_{1/2} = (180^\circ - \alpha'_1)/2$,那么,该旋光物质水溶液的旋光度就分别为 $\alpha_1 = 180^\circ - \alpha'_1$ 和 $\alpha_{1/2} = 180^\circ - \alpha'_{1/2}$,该旋光物质是左旋物质。

参考文献(References):

- [1] 郝杰. “旋光实验演示装置”的原理和制作[J]. 大学物理实

验 2010 23(1): 54-56.

- [2] 邓保炜. 旋光度的测定实验内容改革[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版) 2002 30(专集 S1): 195-197.
- [3] 左安友, 袁作彬. 在旋光实验中判断左、右旋物质的实验探讨[J]. 物理通报 2004(3): 28-30.
- [4] 钟红梅, 侯德顺. WXG-4型旋光仪测定旋光度操作方法[J]. 河北化工 2008 31(11): 69-70.
- [5] 容凤玉, 张革民, 闭少玲, 等. 甘蔗蔗汁直接旋光度检测的简化方法[J]. 中国糖料 2008(4): 33-34.
- [6] 张爱淑. 提高旋光实验效果的研究[J]. 曲阜师范大学学报, 1994 20(2): 82-84.
- [7] 屈永年, 高海涛, 马钻. 旋光度测定实验方法的改进[J]. 数理医药学杂志 2004 17(3): 283-284.
- [8] 郑颖军, 侯宇. 旋光度测量原理的研究[J]. 计量学报 2000, 21(4): 268-272.
- [9] 王建辉. 旋光度确定方法的逻辑分析[J]. 山西大学学报(自然科学版) 2005 28(3): 301-302.
- [10] 胡奎三. 旋光光度测定法简介[J]. 辽宁药物与临床, 1999(1): 1-3.
- [11] 丁宁. 旋光液体浓度测量方法的研究[J]. 大学物理实验, 2007 20(2): 33-34.
- [12] 朱国全. 旋光仪实验中一些重要问题的探讨[J]. 实验科学与技术 2008 6(4): 29-30.
- [13] 黄曙江. 一种糖溶液旋光度的测量方法和不确定度分析[J]. 计量与测试技术 2009 36(4): 88-89.
- [14] 吴仲儿, 黄绍华, 李志达, 等. 食品化学实验[M]. 广州: 暨南大学出版社, 1994: 9-15.
- [15] 南京大学化学系有机化学教研室. 有机化学(上)[M]. 北京: 人民教育出版社, 1978: 328-332.
- [16] 郑集. 普通生物化学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1982: 18-19.
- [17] 无锡轻工业学院, 天津轻工业学院. 食品分析[M]. 北京: 轻工业出版社, 1983: 67-69.