

文章编号:1007-2934(2016)04-0089-04

一种测量糖溶液旋光率的新方法和 MATLAB 分析

余 东, 向文丽*

(楚雄师范学院, 云南 楚雄 675000)

摘 要: 利用光学实验中常用的分光计、偏振器和自制的读数盘通过组装搭建形成一种可以用来测量偏转角和旋光率的系统(简称直读式分光计旋光仪)。利用该系统测量了蔗糖旋光率,与传统的 WYG-4 旋光仪比较,实验结果的相对误差小于 0.3%。实验现象明显,读数方便快捷。通过 MATLAB 分析了 WYG-4 型旋光仪和自制旋光仪实验数据,发现两种数据相似度极高。该自主改装的“直读式分光计旋光仪”可以作为一种测量糖溶液旋光率的新方法。

关 键 词: 直读式分光计旋光仪; MATLAB 分析; 旋光率

中图分类号: O 4-33

文献标志码: A

DOI: 10.14139/j.cnki.cn22-1228.2016.004.028

平面偏振光沿晶体光轴方向通过晶片,偏正面将会发生旋转,这种现象称为旋光现象。旋光角的大小与通过晶体的厚度和晶体材料的物理特性有关。而通过研究某些物质的旋光特性,可以鉴别物质种类,因而建立测量偏振面旋转的实验系统具有一定的实验价值和实际意义^[1]。对于旋光现象,旋转角是一个非常重要的参数,以透明溶液为例,振动面的旋转度表示为

$$\varphi = \alpha CL, \quad (1)$$

其中: L 为溶液厚度; α 为旋光率,定义为偏振光通过浓度为 1-g/cm^3 、厚度为 1-dm 的旋光溶液所产生的旋转角,与物质的性质、入射光的波长有关; C 为溶液的浓度,代表每立方厘米溶液中所含溶质的克数。由(1)式可知当波长 λ 和厚度 L 一定,溶液浓度 C 已知时,只需用仪器测出旋转的角度 φ 即可求出溶液的旋光率 α 。

对于旋转的角度 φ 的测量仪器一般有 WYG-4 旋光仪、WZZ-T2 投影式自动旋光仪、WYG-5 旋光仪等,用这些旋光仪来测定糖溶液的旋转角度 φ 虽然操作简单,但其中的起偏器和检偏器都被封装在金属筒中,不能形象地认识偏振器和偏振光测量系统。笔者利用传统实验中常用的分光计、偏振器和自制的读数盘进行自主改装,自制出“直读式分光计旋光仪”,并对其测量结果用 MATLAB 进行分析,实验现象明显,结果精准。

1 实验原理和实验仪器的组装

1.1 实验原理

自然光通过无吸收的理想偏正片后,其强度应减为原来的一半^[2],变为线偏振光,线偏振光通过检偏器后的投射光强度可根据马吕斯定律(2式)求出。

$$I_{\varphi} = I \cos^2 \varphi, \quad (2)$$

当将偏振光光栅和检测器的偏正化方向调到正交($\varphi = 90^\circ$),这时人眼看到的视场最暗($I = 0$)。随后在旋光管或液体槽中装上待测溶液,此时偏正面发生旋转,视场变亮,然后调节检测器使视场最暗。因此,检测器所转过的角度即为溶液的旋光度。

1.2 实验仪器的组装

组装直读式分光计旋光仪如图 1 所示,采用实验室的分光计做支架,光源为钠光灯($\lambda = 589.3\text{-nm}$);自制液体槽的规格为($83 \times 40 \times 60$) mm^3 即 $L = 0.830\text{-dm}$;将起偏器安装在平行光管的透镜位置处,将检偏器安装在望眼镜的透镜位置处。在不加待测溶液时,旋转检偏器,使出射光强最小,之后放上待测旋光溶液,由于旋光效应,通过检偏器的光强变亮。旋转检偏器,使出射光强再次变为最小,检偏器转过的角度,就是溶液的旋

收稿日期: 2016-04-14

基金项目: 楚雄师范学院科研基金项目(2015kyig008)

* 通讯联系人

光角度 φ ,该角可从检偏器的读数盘上读出。再根据公式(1)即可求出溶液的旋光率 α 。



图 1 直读式分光计旋光仪装置实物图(侧视图)

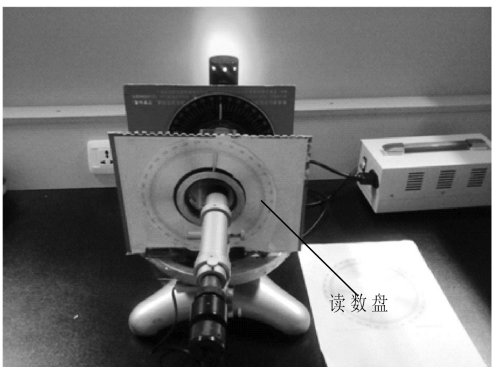


图 2 直读式分光计旋光仪装置实物图(正视图)

2 实验效果对比图

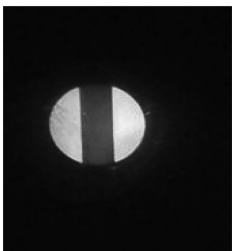


图 3 直读式分光计旋光仪未消光 图 4 直读式分光计旋光仪未消光 图 5 WXG-4 型旋光仪未消光 图 6 WXG-4 型旋光仪消光

由图 3、图 4、图 5、图 6 可看出直读式分光计旋光仪的实验效果图(图 3、图 4)比 WXG-4 型旋光仪的实验效果图(图 5、图 6)更为直观明了,自制的读数系统更加方便快捷。

3 实验数据记录与处理

近几年来,物理实验用 MATLAB 进行分析研究收到了明显效果^[3,4]。本文用 MATLAB 对 WXG-4 旋光仪和自制的直读式分光计旋光仪所测的旋光率 α 进行单因素方差分析(anova),比较出 WXG-4 旋光仪和自制的直读式分光计旋光仪所测出的旋光率 α 之间的相似度。

3.1 实验数据记录

用 WXG-4 旋光仪测量蔗糖溶液旋光度,在每种浓度下分别测量 3 组实验数据,求出平均值记入表 1。

表 1 用 WXG-4 旋光仪测量蔗糖溶液旋光度数据表,
 $t=10^{\circ}\text{C}$ $L=1\text{dm}$ $\lambda=589.3\text{nm}$

溶液浓度 $C/(\text{g/ml})$	旋光角度 $\varphi/^\circ$	旋光率 $\alpha/(\text{度}\cdot\text{ml}\cdot\text{dm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1})$
0.10	5.94	59.40
0.15	9.30	62.00
0.20	13.15	65.75

溶液浓度 $C/(\text{g/ml})$	旋光角度 $\varphi/^\circ$	旋光率 $\alpha/(\text{度}\cdot\text{ml}\cdot\text{dm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1})$
0.25	15.70	62.80
0.30	19.07	63.50
0.35	21.70	62.00
0.40	23.95	59.88
0.45	26.36	58.59
0.50	28.66	57.33

用自制直读式分光计旋光仪测量蔗糖溶液旋光度,在每种浓度下分别测量 3 组实验数据,求出平均值记入表 2。

表 2 用直读式分光计旋光仪测量蔗糖溶液旋光度数据记录表,
 $t=10^{\circ}\text{C}$ $L=0.83\text{d-m}$ $\lambda=589.3\text{nm}$

溶液浓度 $C/(\text{g/ml})$	旋光角度 $\varphi/^\circ$	旋光率 $\alpha/(\text{度}\cdot\text{ml}\cdot\text{dm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1})$
0.10	4.90	59.04
0.15	7.74	62.17
0.20	10.76	64.80
0.25	12.96	62.46
0.30	15.80	63.45
0.35	18.40	63.34
0.40	19.94	60.06
0.45	21.78	58.31
0.50	24.06	57.97

3.2 用 MATLAB 进行实验数据分析处理

基于概率论与数理统计知识,在 MATLAB 中

设计单因素方差分析 (anova) 程序, 得到 WXG-4 旋光仪和自制的直读式分光计旋光仪所测数据的方差分析表和旋光率 α 各列数据的盒形 (box) 图和利用回归分析知识在 MATLAB 中设计程序, 分别作出 WXG-4 旋光仪和自制的直读式分光计旋光仪的残差图、各数据点及回归方程的图形, 源程序中主要程序段如下:

```
c = [0.10;0.05;0.50]';
y1 = [5.94, 9.30, 13.15, 15.70, 19.07, 21.70, 23.95, 26.36, 28.66]';
C = [ones(9,1) c]
Y1 = [5.94, 9.30, 13.15, 15.70, 19.07, 21.70, 23.95, 26.36, 28.66]';
[b, bint, r, rint, stats] = regress(Y1, C)
subplot(2,2,1)
rcoplot(r, rint)
title('WXG-4 型旋光仪拟合残差图')
z = b(1) + b(2) * c
subplot(2,2,2)
plot(c, y1, 'k+', c, z, 'r')
title('WXG-4 型旋光仪拟合图像')
xlabel('C/(g/mol)')
ylabel('ψ/度')
y0 = [4.90, 7.74, 10.76, 12.96, 15.80, 18.40, 19.94, 21.78, 24.06]';
y2 = y0/0.83
C = [ones(9,1) c]
Y0 = [4.90, 7.74, 10.76, 12.96, 15.80, 18.40, 19.94, 21.78, 24.06]';
Y2 = y0/0.83
[b, bint, r, rint, stats] = regress(Y2, C)
subplot(2,2,3)
rcoplot(r, rint)
title('分光计旋光仪拟合残差图')
z = b(1) + b(2) * c
subplot(2,2,4)
plot(c, y2, 'k+', c, z, 'r')
title('分光计旋光仪拟合图像')
xlabel('C/(g/mol)')
ylabel('ψ/度')
a = [59.40, 62.00, 65.75, 62.80, 63.50, 62.00, 59.88, 58.59, 57.33;
59.04, 62.17, 64.80, 62.46, 63.45, 63.34, 60.06, 58.31, 57.97]';
```

mean(a)

[p, table, stats] = anova1(a)

运行程序得:

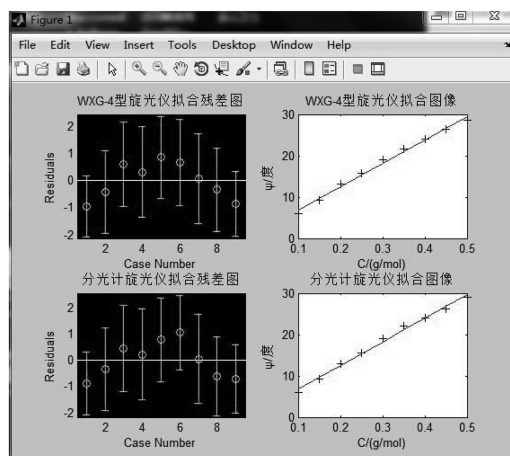


图 7 拟合残差图和数据拟合图像

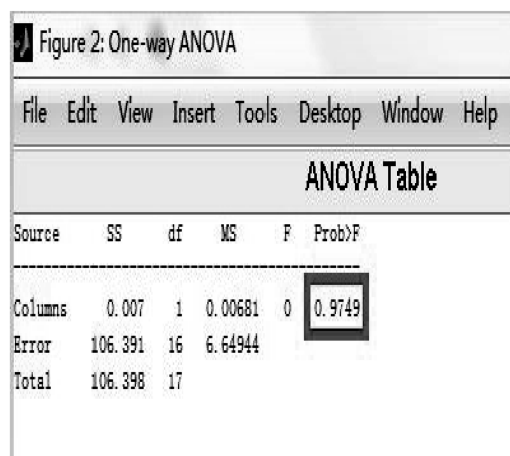


图 8 方差分析表

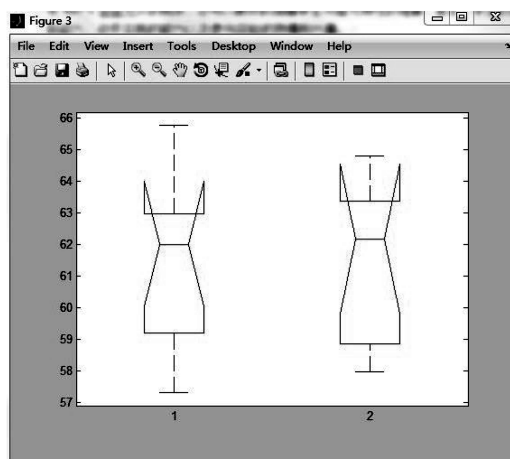


图 9 旋光率 α 各列数据的盒形 (box)

从图 7 的拟合残差图可以看出,9 个数据的残差离零点均较近,并且残差的置信区间均包含零点,这说明数据拟合的直线是能较好地符合原始数据^[5,6]。

如果(P-值)接近零则拒绝零假设,表明至少有一个样本的均值与其他的样本均值显著不同。当概率(P-值)小于 0.05,则认为平均值间的差异是显著的。如果盒形图的中心线差别很大,则对应的 F 值很大,相应的概率值(P-值)就很小^[7,8]。由图 9 我们可以看出旋光率 α 各列数据的盒形图的中心线几乎是没有什么差别的,则对应的 F 值很小,相应的概率值(P-值)就很大则表明各列数据之间无显著差异。而由图 8 方差分析表也可看出输出的 P 值为 0.974 9 远远大于 0.05 则表明各列数据之间无显著差异,说明自主改装的直读式分光计旋光仪与传统的 WXG-4 旋光仪所得出的数据无显著差异,用自制直读式分光计旋光仪测量的旋光率与 WXG-4 旋光仪测量结果相对误差均小于 0.3%,由此得出对于一些溶液旋光实验用自主改装的直读式分光计旋光仪是科学可行的^[9]。

4 结束语

本文利用传统实验中常用的分光计、偏振器和自制的读数盘进行自主改装,自制出“直读式分光计旋光仪”,实验效果明显,读数方便快捷。通过 MATLAB 编程分析了 WXG-4 旋光仪和自主改装的直读式分光计旋光仪对于蔗糖溶液的旋光

率,程序输出的 P 值为 0.974 9 远远大于 0.05,相似度非常高,相对误差远远小于 5%,精确度非常高。并且自主改装的“直读式分光计旋光仪”可以解决一些高校没有 WXG-4 型旋光仪的现状,更好地加强对旋光特性的理解,激发了学生的思维创新能力、动手实践的能力以及参与实验的热情和兴趣。自主改装的“直读式分光计旋光仪”是测量溶液的旋光率实验中值得推广的一种新方法。

参考文献:

- [1] 赵培涛,李国华,彭悍东,等.旋光测量系统的新设计[J].激光技术,2005(5):0504-03.
- [2] 姚启军.光学教程[M].北京:高等教育出版社,2008:06.
- [3] 夏漫,陈佳,徐扬子,等.基于 MATLAB 的光的单缝衍射实验模拟研究[J].大学物理实验,2015(2):90-92.
- [4] 颜建,丁益民.基于 MATLAB 的 α 粒子散射实验模拟[J].物理与工程,2014(04):21-23.
- [5] 李峰.数学实验[M].北京:科学出版社,2012:172-180.
- [6] 郭民之.概率论与数理统计[M].北京:科学出版社,2012.
- [7] 陈荣江,孙用明,焦光利.概率论与数理统计[M].北京:中国传媒大学出版社,2008(6):245-249.
- [8] 刘加海.MATLAB 可视化科学计算[M].杭州:浙江大学出版社,2014(6):264-269.
- [9] 郭天葵.基于 MATLAB 的实验数据处理[J].大学物理实验,2005(3):80-82.

A New Method for Measuring the Specific Rotation of Sugar Solution and MATLAB Analysis

YU Dong, XIANG Wen-li

(ChuXiong Normal University, Yunnan Chuxiong 675000)

Abstract: Using the spectrometer, polarizer and self-made reading disc, a new system is established to measure the angle of rotation and specific rotation (named as Direct-reading-spectrometer polarimeter). This system is applied to measure the specific rotation of sugar. The result shows that the relative error is smaller than 0.3% compared with the traditional WXG-4 polarimeter. The experimental phenomenon is clear, and the reading system is simple and convenient to use. The results measured by self-made and WXG-4 polarimeters analyzed by using MATLAB are quite similar. This indicates that the self-made system provides a new way to measure the specific rotation of sugar solution.

Key words: direct-reading-spectrometer polarimeter; MATLAB analysis; specific rotation